АГЗК + АТ «АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо»
МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том 17. № 3. 2018 г. Издается с января 2002 г. Периодичность – ежемесячно

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА

Чикишев Е.М., Анисимов И.А.
Использование природного газа на автомобильном транспорте как одна из мер улучшения экологической обстановки в городах 99
В статье представлен краткий анализ вопроса, посвященный проблеме загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом. Проанализирована законодательная база по использованию природного газа в России. Определено, что наиболее актуально развивать газомоторную инфраструктуру вблизи крупных автомагистралей и городов. Приведены некоторые критерии, которые должны быть соблюдены для строительства разветвленной сети газовых заправочных станций. На примере российского города Тюмени проведен эксперимент по учёту транзитного транспорта, проходящего через его основные автомагистрали на въезде и выезде из города. Сделан вывод, что важным аспектом устойчивого развития городов может являться улучшение экологической обстановки путём применения более экологичного топлива – природного газа. А для расширения его использования необходимо рациональное территориальное и количественное расположение сети АГНКС.

Марков В.А., Чирков А.Ю., Зайченко В.М., Цыплаков А.И., Директор Л.Б.
Газопоршневые энергоустановки, работающие на генераторном газе 108
Обоснована необходимость использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрены виды альтернативных топлив, используемых в бензиновых двигателях и дизелях. Показаны преимущества использования газообразных альтернативных топлив. Рассмотрена организация рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания на генераторном газе. Представлены двигатели внутреннего сгорания, работающие на генераторном газе.

Патрахальцев Н.Н., Лотфуллин Ш.Р., Шаталов И.К., Антипов Ю.А.
Снижение выбросов неметановых углеводородов автобусным газовым двигателем типа КАМАЗ в условиях эксплуатации 121
Приводятся результаты расчетно-экспериментального исследования возможностей снижения среднеэксплуатационных выбросов суммарных и неметановых углеводородов газовым двигателем типа КАМАЗ, регулируемым отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок, т.е. изменением его активного рабочего объема. Выбросы суммарных углеводородов газовым двигателем могут превышать аналогичный показатель "жидкотопливных" ДВС. Однако выбросы более вредных неметановых углеводородов у него меньше. Регулированием двигателя отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок эти выбросы могут быть дополнительно снижены на ~ 20–30 %.

Беденко С.П., Третьяков В.Ф., Талышинский Р.М.
Теоретический анализ превращения диметилового эфира в ацетальдегид 126
Проанализированы термодинамические вероятности реакционных путей превращения диметилового эфира в этанол, ацетальдегид, этилен и этиленоксид. Приведен обзор катализаторов превращения ДМЭ и его молекулярного аналога этанола в ацетальдегид. Показаны возникающие при подборе катализаторов основные кинетические проблемы.

Грушников В.А.
Информационно-инфраструктурная поддержка дорожной безопасности 130
Повышение безопасности дорожного движения продолжает оставаться серьезной проблемой, решение которой возможно только при максимальной совместной реализации потенциала комплекса административных мер наказания за совершенные правонарушения, самоконтроля водителей и электронных цифровых бортовых систем колесных транспортных средств и дорожно-транспортной инфраструктуры.

ИНФОРМАЦИЯ

Шурчков А.А.
24-я Московская международная выставка "Автокомплекс-2017" 137
1–3 ноября 2017 г. в павильоне № 7 и на открытых площадках ЦВК "Экспоцентр" прошла 24-я Московская международная выставка "Автокомплекс-2017". Организатором выставки, которую поддержали Правительство Москвы и Российский топливный союз, является ООО "АЗС-ЭКСПО".

Савченко А.С.
Электромобили – будущее транспорта? 139
В последние годы все более отчетливо проявляется электромобильный бум. Темпы, которыми в мире растет сегмент легкового транспорта, оснащенного вместо бензобаков аккумуляторными батареями, завораживают. Это породило ожидания близкого конца эры автомобильного транспорта: "еще немного, и на смену загрязняющим окружающую среду двигателям внутреннего сгорания массово придут экологически чистые электромоторы.

Новости 143–144

Учредитель
ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"

Главный редактор
В.Ф. Третьяков – академик РАИН, д-р хим. наук, профессор

Зам. главного редактора
А.С. Савченко

Председатель редакционного совета
В.Ф. Корнюшко – д-р техн. наук, Заслуженный деятель науки и техники РФ

Состав редакционного совета:
член-корр. АН РТ **Г.С. Дьяконов** (Респ. Татарстан, г. Казань)
д.т.н. **В.И. Ерохов** (Московский Политехнический университет, г. Москва)
д.т.н. **Н.Г. Кириллов** (ООО "ИИЦ Стирлинг-Технологии", г. Санкт-Петербург)
д.т.н. **И.М. Коклин** (ООО "Газпром Трансгаз Ставрополь")
член-корр. НАН **Ю.Н. Литвишков** (Азербайджан, г. Баку)
академик НАН **И.И. Лиштван** (Беларусь, г. Минск)
д.т.н. **В.А. Марков** (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)
академик РАЕН **С.В. Мещеряков** (МИНГП, г. Москва)
д.э.н. **А.В. Николаенко** (МГТУ МАМИ, г. Москва)
О.Н. Румянцева (ООО "Издательство "Инновационное машиностроение")
д.х.н. **Р.М. Талышинский** (РАН ИНХС, г. Москва)
академик НАН РК, **Е.М. Шайхутдинов** (Респ. Казахстан, г. Алматы)

Редактор
И.Л. Сильченкова

Компьютерная верстка
С.А. Жиркина

Адрес и телефон редакции:
107076, г. Москва,
Колодезный пер., д. 2а, стр. 2
Тел. 8 (499) 268-41-77
E-mail: info.agzk-at@mashin.ru
info.agzk.at@gmail.com
www.mashin.ru
Подписано в печать 29.01.2018 г.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер",
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу "Пресса России"– индекс **39543**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). **Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–63954**

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

© ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо", 2018

АГЗК + АТ «AutoGas Filling Complex + + Alternative fuel»
AN INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL MAGAZINE

Vol. 17. № 3. 2018 г. Published from January, 2002 Periodicity – monthly

A magazine is plugged in List of editions of VAK Minobrnauki Russian Federation

CONTENTS

SCIENCE

Chikishev E.M., Anisimov I.A.

The use of natural gas on automobile transport as one of measures to improve environmental situation in cities 99

The article provides a brief overview of the issue of environmental pollution by automobile transport. The legal basis of the natural gas use in Russia is reviewed. It is determined that development of gas-engine infrastructure is the most topical near major roads and cities. The paper presents some criteria which must be met in order to build an extensive network of gas stations. On the example of Russian city of Tyumen, an experiment is carried out to account a transit traffic passing through main highways at entry and exit out of city. It is concluded that the key aspect of sustainable urban development can be environmental improvement through the use of more ecological fuel – natural gas. And the rational territorial and quantitative location of the NGVFS network is necessary to expand its use.

Markov V.A., Chirkov A.Yu., Zaichenko V.M., Tsyplakov A.I., Direktor L.B.

Gas-piston power plants running on generator gas 108

Types of alternative fuels used in gasoline engines and diesel engines are considered. The necessity of using alternative fuels in internal combustion engines is shown. Advantages of using gaseous alternative fuels are shown. Organization of the working process of the internal combustion engine running on generator gas is considered. Internal combustion engines running on generator gas are shown.

Patrakhaltsev N.N., Lotfullin Sh.R., Shatalov I.K., Antipov Yu.A.

Diminution of contents of non-methane hydrocarbons of gas-engine of type KAMAZ of city bus in exploitation 121

There presented some results of rated-experimental investigation of opportunities to diminish of exhaust emission of total and non-methane hydrocarbons during exploitation of gas-engine. This may be achieved by some cylinders disconnection during low loads regimes. There showed, that gas-engine may have more total hydrocarbons in exhaust gases, than liquid-fuelled engine, but less of non-methane hydrocarbons. This quantity may be reduced for 20–30 % by regulation of active displacement of engine.

Bedenko S.P., Tretyakov V.F., Talyshinsky R.M.

Theoretical analysis of transformation dimethyl ether in acetaldehyde 126

The thermodynamic probabilities of the reaction routes for the conversion of dimethyl ether to ethanol, acetaldehyde, ethylene and ethylene oxide are analyzed. A review is given of the cata-lysts for the conversion of DME and its molecular analogue of ethanol to acetaldehyde. The main kinetic problems that arise during the selection of catalysts are shown.

Grushnikov V.A.

Information and infrastructure support for road safety 130

Improving road safety continues to be a serious problem, the solution of which is possible only with maximum joint implementation of the potential of a complex of administrative penalties for committed offenses, driver self-control and electronic digital on-board wheeled vehicle systems and road transport infrastructure.

INFORMATION

Shurchkov A. A.

24th Moscow International Exhibition "AutoComplex-2017" 137

On November 1–3, 2017, the 24th Moscow International Exhibition "AutoComplex-2017" was held in Pavilion 7 and on the open areas of the Expocentre Fairgrounds. The exhibition supported by the Government of Moscow and the Russian Fuel Unionis, is organized by LLC "AZS-EXPO".

Savchenko A.S.

Electric cars – the future of transport? 139

In recent years, the electromobile boom has been increasingly apparent. The pace of growth in the world of passenger cars equipped with batteries instead of gasoline tanks is fascinating. This gave rise to the expectations of the close end of the era of road transport: "a little more, and environmental polluting internal combustion engines will be replaced by environmentally friendly electric motors".

News 143–144

Founder
LLC "Publishers "Innovative mashinostroenie"

Editor-in-chief
V.F. Tretyakov – academician of RAES, doctor of chemical sciences, professor

Deputy editor
A.S. Savchenko

Chairman of the editorial board
V.F. Kornyushko – doctor of technical sciences, honored scientist of the Russian Federation

The editorial board:
corresponding member of the AS RT **G.S. D'yaconov** (Tatarstan Resp., Kazan)
doct. of techn. sc. **V.I. Erohov** (Moscow Polytech, University, Moscow)
doct. of techn. sc. **N.G. Kirillov** (LLC "IPC Stirling-Technology", St. Petersburg)
doct. of techn. sc. **I.M. Koklin** (LLC "Gazpom Transgaz Stavropol")
corresponding member of the ANAS **Yu.N. Litvishkov** (Azerbaijan, Baku)
academician of the NAS **I.I. Lishtvan** (Belarus, Minsk)
academician of the RANS doct. of techn. sc. **V.A. Markov** (Bauman MSTU, Moscow)
S.V. Meshcheryakov (MINGP, Moscow)
doct. of econom. sc. **A.V. Nikolaenko** (MSUME, Moscow)
O.N. Rumyantseva (LLC "Innovative mashinostroenie" Publishers)
doct. of chem. sc. **R.M. Talyshinsky** (TIPS RAS, Moscow)
Academician of the NAS RK **E.M. Shaikhutdinov** (Kazakhstan Resp., Almaty)

Editor
I.L. Silchenkova

Computer Design
S.A. Zhirkina

Address and phone edition:
107076, Moscow, Kolodezniy per., 2a, str. 2
Tel.: 8 (499) 268-41-77
E-mail: info.agzk-at@mashin.ru
info.agzk.at@gmail.com
www.mashin.ru

The magazine is distributed by subscription, which can be obtained at any post office indexe "The Russian Press" – **39543**

The magazine is registered with the Federal agency for Supervision of Communications, Information Technology and Communications (Roskomnadzor), **Registration certificate PI N FS77–63954**

Reprint is possible only with the reference to the journal "Autogas filling complex + alternative fuel"

© LLC "Innovative mashinostroenie" Publishers, "Autogas filling complex + alternative fuel", 2018

УДК 629.33-62:504.06:001.891

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК ОДНА ИЗ МЕР УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ГОРОДАХ

Е.М. Чикишев, канд. техн. наук;
И.А. Анисимов, канд. техн. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

В статье представлен краткий анализ вопроса, посвященный проблеме загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом. Проанализирована законодательная база по использованию природного газа в России. Определено, что наиболее актуально развивать газомоторную инфраструктуру вблизи крупных автомагистралей и городов. Приведены некоторые критерии, которые должны быть соблюдены для строительства разветвленной сети газовых заправочных станций. На примере российского города Тюмени проведен эксперимент по учету транзитного транспорта, проходящего через его основные автомагистрали на въезде и выезде из города. Сделан вывод, что важным аспектом устойчивого развития городов может являться улучшение экологической обстановки путем применения более экологичного альтернативного топлива – природного газа. А для расширения его использования необходимо рациональное территориальное и количественное расположение сети АГНКС.

Ключевые слова: *газобаллонный автомобиль; ГБА; компримированный природный газ; КПГ; автомобильная газонаполнительная компрессорная станция; АГНКС; экология.*

THE USE OF NATURAL GAS ON AUTOMOBILE TRANSPORT AS ONE OF MEASURES TO IMPROVE ENVIRONMENTAL SITUATION IN CITIES

Chikishev E.M., Ph. D. of technical sciences;
Anisimov I.A., Ph. D. of technical sciences, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen"/ IUT

The article provides a brief overview of the issue of environmental pollution by automobile transport. The legal basis of the natural gas use in Russia is reviewed. It is determined that development of gas-engine infrastructure is the most topical near major roads and cities. The paper presents some criteria which must be met in order to build an extensive network of gas stations. On the example of Russian city of Tyumen, an experiment is carried out to account a transit traffic passing through main highways at entry and exit out of city. It is concluded that the key aspect of sustainable urban development can be environmental improvement through the use of more ecological fuel – natural gas. And the rational territorial and quantitative location of the NGVFS network is necessary to expand its use.

Keywords: *gas cylinder vehicle; GCV; compressed natural gas; CNG; natural gas vehicle filling station; NGVFS; ecology.*

Потребление энергетических ресурсов в мире растет от года к году. Наиболее стремительный рост использования энергии наблюдается в Китае, Индии, США и России, а также странах Ближнего Востока, Африке и Латинской Америке. При этом известно, что ископаемые источники занимают около 80 % от всего мирового энергопотребления, основными из которых являются нефть и газ. Значительная часть этих углеводородов используется при эксплуатации автомобилей. И именно транспорт является одним из основных антропогенных источников, загрязняющих окружающую среду, численность которого в мире уже свыше 1 млрд и ежегодно неуклонно растет. На фоне этого многие государства принимают ряд законодательных инициатив по сокращению вредного влияния автомобилей на окружающую среду.

В подтверждение приверженности государств снижению вредного воздействия от человеческой деятельности можно отметить, например, то, что в течение 2016 г . многими странами было подписано Парижское соглашение по климату, которому в конце 2015 г. предшествовала 21-я конференция (COP 21) Рамочной конвенции ООН об изменении климата. В данном документе указывается о проблеме и важности снижения углекислого газа в атмосфере, чтобы удержать рост глобального потепления начиная с 2020 г.

Целью конференции являлось подписание международного соглашения по поддержанию увеличения средней температуры планеты на уровне ниже 2 °С к 2100 г., применимого ко всем странам. Соглашение заменит одно из первых глобальных документов, регулирующих негативное воздействие человека на окружающую среду, Киотский протокол (COP 3), принятый в Японии в 1997 г. Подписи под Парижским протоколом уже поставили более 190 стран, в том числе Австралия, Бразилия, Великобритания, Германия, Индия, Канада, Китай, Россия, Франция, Япония и др.

Таким образом, была подтверждена важность вопросов экологии и изменения климата во всем мире. Соглашение вступило в силу 4 ноября 2016 г. после его ратификации более 55 стран, в совокупности на которые приходится более 55 % выбросов парниковых газов. На сегодняшний день уже более 110 стран ратифицировали данное соглашение.

Примечательно, что США в июне 2017 г. вышли из Парижского соглашения, а Россия до сих пор его не ратифицировала. Тем не менее проблемы снижения вредного воздействия на окружающую среду от деятельности человека, как от передвижных источников, так и от стационарных, актуальны для мирового сообщества.

Например, на уровне стран, существуют законы, которые призваны снизить вредное влияние транспорта на окружающую среду. Среди них:

1. Повышение экологических требований к автомобилям, работающим на традиционных видах топлива (бензин, дизель).

Например, в Евросоюзе действует одно из самых жестких ограничений по выбросам CO_2 в мире. К 2020 г. выбросы углекислого газа у новых автомобилей должны быть снижены до 95 г/км [1]. В США и Японии действуют схожие программы снижения GHG выбросов [2]. Однако если в странах Евросоюза, США, Японии и др. выбросы CO_2 контролируются наряду с оксидом углерода (CO), углеводородами (HC), оксидами азота (NO_x) и сажей, то в России при оценке компонентного состава отработавших газов CO_2 не учитывается вовсе [3–5].

Для России данный вопрос очень актуален, так как в 2014 г. мы вошли в пятерку лидеров по выбросам CO_2 в мире [6]. В стране ежегодно выбрасывается 1766 млн т CO_2 вследствие деятельности человека. При этом существенная часть этих выбросов приходится на автомобильный транспорт.

2. Расширение использования альтернативных источников топлива, таких как: газ, электричество, биотопливо, водород и т.д.

Применение данных видов топлива уже достаточно широко используется в ряде стран. И наиболее широко применяется природный газ. Согласно данным NGVJournal [7] в 86 странах мира по состоянию на конец 2017 г. насчитывается свыше 22 млн газобаллонных автомобилей (ГБА), использующих природный газ в качестве основного топлива. Это составляет 2 % от общего количества мирового парка автомобилей. К тому же мировой парк таких ГБА ежегодно увеличивается на 30 % [7]. Мировыми лидерами в данной области являются Аргентина, Бразилия, Германия, Индия, Иран, Италия, Китай, Колумбия, Пакистан, США, Таиланд и др. [7].

На этом фоне исследования применения природного газа на автомобилях являются актуальными [8–11]. Тем более множество проведенных экспериментов подтверждает, что при сгорании природного газа в автомобильных двигателях с отработавшими газами выделяется меньше вредных веществ по сравнению с традиционными нефтяными топливами – бензином и дизелем [9–15 и др.]. К тому же во всех странах мира газовое топливо значительно дешевле по сравнению с бензином и дизелем (как правило, в 2–3 раза). Например, в России данная ценовая пропорция до недавнего времени регулировалась Постановлением Правительства РФ от 15.01.93 г. № 31 "О неотложных мерах по расширению замещения моторных топлив природным газом". Однако с 21.04.2015 г. это Постановление отменено согласно Постановлению Правительства РФ от 10.04.2015 № 338. Тем не менее тенденция к росту цены на природный газ не наблюдается.

3. Популяризация применения общественного транспорта, в том числе использование на общественном транспорте природного газа, электричества и других видов альтернативного топлива.

Применение природного газа на автомобильном транспорте в России

Из всех существующих на данный момент альтернативных источников топлива на автомобильном транспорте в России наиболее актуальным и логичным является использование природного газа. Страна обладает самыми большими мировыми запасами данного ископаемого (24,6 %) и занимает второе место по его добыче (18 %) [16]. Также на государственном и региональных уровнях принят ряд законодательных инициатив, которые в ближайшее время должны увеличить потребление природного газа на автомобильном транспорте как в компримированном (КПГ), так и сжиженном (СПГ) состоянии. И главную роль в повышении потребления данного углеводорода транспортом должно сыграть повсеместное строительство газовых заправочных станций.

Известно, что существует два вида газовых заправок:

1. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС) для заправки сжатым газом – КПГ.

2. Криогенная автозаправочная станция (КриоАЗС) для заправки автомобилей, работающих на сжиженном природном газе – СПГ.

В данной работе будут рассматриваться только АГНКС.

Основополагающими документами, принятыми в последнее время и призванными значительно расширить применение природного газа в транспортном комплексе нашей страны, являются:

1. № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 г. (ред. от 04.11.2014 и от 29.12.2014 г.).

В ст. 14. Повышение энергетической эффективности экономики субъектов РФ и экономики муниципальных образований отмечается, в том числе, об увеличении количества высокоэкономичных в части использования моторного топлива транспортных средств, в отношении которых проведены мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, в том числе по замещению бензина и дизельного топлива, альтернативными видами моторного топлива – природным газом и др. с учетом доступности использования, близости расположения к источникам природного газа и др. и экономической целесообразности такого замещения.

2. Государственная программа РФ "Энергоэффективность и развитие энергетики" от 15.04.2014 г. № 321 (ред. Постановления Правительства РФ от 09.10.2015 г. № 1079; от 07.12.2015 г. № 1339; от 25.05.2016 г. № 464; от 31.01.2017 г. № 116).

Цель Программы – надежное обеспечение страны топливно-энергетическими ресурсами, повышение эффективности их использования и снижение антропогенного воздействия топливно-энергетического комплекса на окружающую среду. Цель подпрограммы "Развитие газовой отрасли" – развитие газовой отрасли, эффективно обеспечивающей газом потребности внутреннего рынка и выполнение контрактных обязательств по поставкам природного газа на экспорт, увеличение производства и экспортных поставок сжиженного природного газа, увеличение объемов и глубины переработки газового сырья в рамках диверсификации и ухода от экспортно-сырьевой модели отрасли. А целевыми индикаторами и показателями являются: расход сжатого газа на работу автотранспорта и количество автогазонаполнительных станций.

3. Распоряжение Правительства РФ № 767-р от 13.05.2013 "О регулировании отношений в сфере использования газового моторного топлива, в том числе природного газа в качестве моторного топлива".

В Распоряжении предложена гармонизация правовых актов России в области стандартизации с соответствующими международными документами в сфере использования природного газа в качестве моторного топлива; обосновать целесообразность разработки технического регламента Таможенного союза в сфере использования природного газа.

Также поручается разработать комплекс мер по доведению к 2020 г. в субъектах РФ уровня использования природного газа на общественном автомобильном транспорте и транспорте дорожно-коммунальных служб в следующих пропорциях:

А. В городах с численностью населения более 1 млн чел. – до 50 % от общего количества транспортных средств.

В. В городах с численностью населения более 300 тыс. чел. – до 30 % от общего количества транспортных средств.

С. В городах и населенных пунктах с численностью населения более 100 тыс. чел. – до 10 % от общего количества транспортных средств.

Предлагается разработать механизм снижения (обнуления) ставки ввозной таможенной пошлины на компоненты, необходимые для производства автомобилей, использующих природный газ в качестве моторного топлива, а также на оборудование и механизмы, используемые для заправки транспортных средств природным газом.

Отмечается о разработке предложений о субсидировании перевода транспортных средств на использование природного газа в целях обновления автобусного парка, автомобилей дорожно-коммунальных служб и др.

4. Также на основании перечня поручений Президента РФ от 11 июня 2013 г. № Пр-1298, поручения Правительства РФ от 24 июня 2013 г. № АД-П9-4314 и комплексного плана мероприятий по расширению использования газа в качестве моторного топлива, утвержденного Правительством РФ 14 ноября 2013 г. № 6819п-П9, в стране разработан Проект Постановления Правительства РФ "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Внедрение газомоторной техники с разделением на отдельные подпрограммы по автомобильному, железнодорожному, морскому, речному, авиационному транспорту и технике специального назначения" (подготовлен Минтрансом России 18.05.2016).

Цель Программы – стимулирование использования газомоторного топлива на автомобильном, железнодорожном, морском, речном и авиационном транспорте и технике специального назначения для снижения транспортных издержек в экономике, повышения конкурентоспособности транспортной системы РФ и уменьшения негативного воздействия транспорта на окружающую среду.

Задачи Программы – обеспечение поэтапного перехода на использование газомоторного топ-

лива на автомобильном, железнодорожном, морском, речном и авиационном видах транспорта и технике специального назначения; синхронизированное развитие парка газомоторных транспортных средств, мощностей по производству газомоторного топлива, газотранспортной и сервисной инфраструктуры; формирование механизмов стимулирования исследований, разработки и производства транспортных средств и техники специального назначения, использующих газомоторное топливо; создание современной нормативно-правовой базы использования газомоторного топлива.

Основными направлениями перечисленных выше документов являются:

1. Снижение вредного воздействия на экологию от передвижных источников.

2. Альтернатива традиционным нефтяным моторным топливам.

3. Снижение финансовых затрат при эксплуатации автомобильного транспорта.

На основе анализа представленных документов и ряда других законодательных федеральных и региональных инициатив можно заключить, что рост числа ГБА и газовых заправочных станций в ближайшее время в нашей стране, как и в ряде других стран, должен стремительно расти.

Однако, как утверждается в ряде источников [17–19 и др.], для развития газомоторной отрасли и роста парка ГБА необходима разветвленная инфраструктура газовых заправочных станций. Например, АГНКС сосредоточены в основном в европейской части России и их количества явно недостаточно для роста потребления газового топлива как в этих регионах в частности, так и во всей стране в целом. Согласно данным NGV journal [7] на 2017 г. в России введено в эксплуатацию всего 253 газовых заправочных станции. Преимущественно сеть заправок природным газом распространена в следующих федеральных округах (ФО) России (реальное число незначительно выше представленных данных):

1. Приволжский ФО – 62;
2. Центральный ФО – 54;
3. Уральский ФО – 42;
4. Южный ФО – 35;
5. Северо-Кавказский ФО – 24.

С технической точки зрения малое количество АГНКС в восточной части России можно объяснить несколькими причинами, среди которых основными являются:

1. Слабая разветвленность (или полное отсутствие) газопроводов;

2. Значительные по протяженности территории ФО;

3. Ограниченные возможности использования ГБА на природном газе в условиях низких температур воздуха, так как зона холодного климата занимает самую большую часть территории нашей страны – около 70 % (северные части России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток), следовательно, на большей части страны значительное время преобладают низкие температуры окружающего воздуха. Однако согласно данным [20] установлено, что прогретый газовый двигатель может эксплуатироваться даже при температурах ниже –30 °С.

Таким образом, расширение использования природного газа на автомобильном транспорте путем рационального количественного и территориального расположения заправочных станций является актуальным для России, особенно в Западной и Восточной Сибири, а также на Дальнем Востоке.

Основные требования, предъявляемые к местам строительства АГНКС

Как отмечалось выше, в отличие от заправочных станций традиционных моторных топлив, для того чтобы построить АГНКС, необходимо главное условие – наличие газопровода. Таким образом, проведя анализ разветвленности газопроводов России и установив, что их протяженность значительно больше в европейской части страны по сравнению с восточными регионами, можно установить аналогичную закономерность и по газовым заправочным станциям. К слову, от Тюмени до Новосибирска (расстояние 1278 км, федеральная трасса Р402-Р254) нет ни одной АГНКС. А в Сибирском и Дальневосточном Федеральных округах можно в совокупности насчитать не более 20 АГНКС.

Логично, что рационально и безопасно размещать такие станции (и сопутствующую инфраструктуру) прежде всего в местах наибольшего потока транспортных средств – в городах и вдоль магистральных автомобильных трасс [17, 22]. При этом необходимо соблюдать пожарную безопасность и нормативные расстояния от АГНКС до окружающих объектов согласно СП 156.13130.2014 "Станции автомобильные заправочные" (приказ МЧС России от 5 мая 2014 г. № 221). Другим доку-

ментом, вступившим в силу 3 мая 2015 г. и регламентирующим строительство АГНКС в нашей стране, является Приказ Ростехнадзора № 559 от 11.12.2014 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности автогазозаправочных станций газомоторного топлива".

В работе [21] нами был выбран для анализа интенсивно развивающийся российский город Тюмень с населением около 700 тыс. жителей и были выдвинуты теоретические предположения мест строительства АГНКС. Предложенные варианты основаны на разветвленности газотранспортной системы города, а также количества потенциальной автомобильной техники города, которую можно перевести на природный газ.

На территории города функционируют две газораспределительных станции (ГРС), около 30 газорегуляторных пунктов (ГРП), общая протяженность газопроводов – более 1000 км, а пропускная способность – более 1 млн м^3 газа в день (ежедневно с КС-11 на нужды Тюмени подается 1 млн м^3 газа). Это позволяет расположить АГНКС во многих его частях. Однако ввиду пожарной безопасности расположение АГНКС в центральных частях города, согласно СП 156.13130.2014, практически невозможно.

Для повышения спроса на природный газ заправочные комплексы предложено устанавливать так, чтобы они могли быть использованы в том числе транзитным транспортом. Но в работе [21] при расчетах по оптимальной производительности АГНКС не учитывался транзитный транспорт. Поэтому продолжения исследований в данном направлении производились с учетом данного аспекта.

С учетом всех рассмотренных факторов можно отметить, что для определения необходимого числа АГНКС в городах и их территориального расположения, а также производительности, кроме подсчета транзитного транспорта необходимо учитывать ряд ранее обозначенных факторов [21–23]:

1. Разветвленность газотранспортной системы в населенном пункте (численность и территориальное расположение газораспределительных станций и газорегуляторных пунктов, протяженность газопроводов и их пропускная способность, удаленность от основных автомобильных магистралей).

2. Требования пожарной безопасности в части удаленности АГНКС от различных объектов городской инфраструктуры.

3. Количество крупных автомагистралей, проходящих через населенный пункт.

4. Количество потенциальной городской автомобильной техники, которую можно переоборудовать для работы на КПГ.

5. Количество транспортных средств, уже эксплуатирующихся на КПГ.

6. Наличие и территориальное расположение уже существующих АГНКС.

Опираясь на основные требования, предъявляемые к местам строительства АГНКС в городах и городских агломерациях и учитывая прогнозируемый рост числа транспорта на газовом топливе, который должен быть обеспечен пунктами заправки, были спланированы наблюдения, результаты которых позволили обосновать примерные места строительства заправочных станций на территориях, прилегающих к г. Тюмени.

Результаты наблюдений часовой интенсивности движения при подъездах к г. Тюмени

Для проведения наблюдений были выбраны 4 автомобильные дороги, о которых упоминалось в проведенных нами ранее исследованиях [21]. Учет транзитного транспорта проводился в марте–апреле 2017 г. в будние (с понедельника по четверг) утренние и вечерние "часы-пик" с 7:00 до 9:00 и с 17:00 до 19:00. При этом определялась средняя интенсивность транспортного потока, как на въезд, так и на выезд из г. Тюмени по видам транспорта: грузовые автомобили, легковые и автобусы. В результате обработки результатов наблюдений были получены следующие средние значения, представленные в табл. 1–8.

1. На выезде из г. Тюмени по автомагистрали Е22 (объездная дорога).

Таблица 1

Средняя часовая интенсивность в утренний "час-пик" (7:00–9:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	592	92	20
Из города	295	57	11
Сумма	887	149	31

Установлено, что утром количество въезжающих в город легковых автомобилей и автобусов выше по сравнению с выезжающими почти

Таблица 2

Средняя часовая интенсивность в вечерний "час-пик" (17:00–19:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	491	76	17
Из города	308	29	20
Сумма	799	105	37

в 2 раза, а въезжающих в город грузовых автомобилей больше почти на 40 % по сравнению с выезжающими транспортными средствами аналогичного класса.

В вечернее время количество въезжающих в город легковых автомобилей выше почти на 40 % по сравнению с выезжающими АТС. Число грузовых автомобилей в 2,5 раза больше на въезде в город по сравнению с выездом. А вот число выезжающих из города автобусов незначительно выше въезжающих.

2. На выезде из г. Тюмени по автомагистрали Р351 (Московский тракт).

Таблица 3

Средняя часовая интенсивность в утренний "час-пик" (7:00–9:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	1392	157	28
Из города	701	80	44
Сумма	2093	237	72

Установлено, что утром количество въезжающих в город легковых и грузовых автомобилей выше по сравнению с выезжающими в 2 раза. А количество автобусов, въезжающих в город, ниже по сравнению с выезжающими на 37 %.

Таблица 4

Средняя часовая интенсивность в вечерний "час-пик" (17:00–19:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	632	100	20
Из города	1076	152	28
Сумма	1708	252	48

В вечернее время число въезжающих в город легковых автомобилей, наоборот, ниже по сравнению с выезжающими на 39 %. Число грузовых автомобилей и автобусов на выезде также преобладает над въезжающими соответственно на 50 и 29 %.

3. На выезде из г. Тюмени по автомагистрали Р404 (Тобольский тракт).

Таблица 5

Средняя часовая интенсивность в утренний "час-пик" (7:00–9:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	741	76	21
Из города	840	132	24
Сумма	1581	208	45

Установлено, что утром количество въезжающих в город легковых и грузовых автомобилей ниже на 12 и 42 % соответственно. А количество автобусов, въезжающих в город, ниже на 3 единицы.

Таблица 6

Средняя часовая интенсивность в вечерний "час-пик" (17:00–19:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	984	88	20
Из города	876	124	28
Сумма	1860	212	48

В вечернее время количество въезжающих в город легковых автомобилей, наоборот, выше на 11 % по сравнению с выезжающими. А поток грузового транспорта и автобусов на въезде ниже примерно на 30 %.

4. На выезде из Тюмени по автомагистрали "Тюмень – Курган".

Таблица 7

Средняя часовая интенсивность в утренний "час-пик" (7:00–9:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	392	16	12
Из города	415	12	4
Сумма	807	28	16

Установлено, что утром количество въезжающих в город легковых автомобилей незначительно ниже – на 6 % по сравнению с выезжающими. А число грузового транспорта, наоборот, на въезде выше на 25 %, а автобусов – в 3 раза больше, чем на выезде.

Таблица 8

Средняя часовая интенсивность в вечерний "час-пик" (17:00–19:00)

Направление	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.
В город	332	8	4
Из города	320	20	3
Сумма	652	28	7

В вечернее время количество въезжающих в город легковых автомобилей несколько выше – на 4 % по сравнению с выезжающими. Поток грузового транспорта на въезде в 2 раза ниже по сравнению с выезжающим. А количество автобусов, въезжающих в город выше на 1 единицу.

В результате полученных наблюдений установлено, что по автомагистралям Е22, Р351 и "Тюмень – Курган" утренний поток автомобилей преобладает над вечерним на 12, 16 и 19 % соответственно. А на автомагистрали Р404, наоборот, вечерний транспортный поток выше на 14 % по сравнению с утренними наблюдениями.

Суммарная интенсивность транспортных средств по утренним и вечерним "часам-пик" представлена в табл. 9.

Таблица 9

Суммарная интенсивность транспортных средств по направлениям

Автомагистраль	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.	Итого
Р351	3801	489	120	4410
Р404	3441	420	93	3954
Е22	1686	254	68	2008
Тюмень–Курган	1459	56	23	1538

Далее определили примерный дневной транспортный поток по направлениям. На основе исследований об интенсивности движения автомобилей, представленных в [24], спрогнозируем примерный 12-часовой транспортный поток. В этой работе отмечается, что при анализе четырех городов разница в интенсивности движения в утренние, дневные и вечерние часы-пик на выезде из города изменяется всего в пределах 2 %. А доля 12-часовой интенсивности движения в суточном потоке изменяется менее чем на 10 % – с 80 до 72 %.

На основе этого можно предположить, что по изученным направлениям автомобильный поток также не будет значительно изменяться в 12-часовом диапазоне (с 7:00 до 19:00 ч). Соответственно за 12-часовой диапазон (с 19:00 до 7:00 ч) можно принять 30 % от дневного потока. Таким образом, примерное суточное число транспортных средств по направлениям будет выглядеть следующим образом (табл. 10).

Таблица 10

Прогнозируемая суммарная суточная интенсивность транспортных средств по направлениям

Автомагистраль	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.	Итого
Р351	28 469	3750	868	33 087
Р404	25 951	3243	712	29 906
Е22	12 839	1479	512	14 830
Тюмень–Курган	10 910	434	155	11 499

Далее спрогнозируем, сколько из подсчитанных автомобилей может быть потенциально переведено на питание природным газом. С учетом положений Распоряжения Правительства РФ № 767-р, проанализированных ранее, к 2020 г. в г. Тюмени (население около 700 тыс. чел) до 30 % от общего количества на общественном автомобильном транспорте (автобусы) и транспорте дорожно-коммунальных служб (грузовой транспорт) должно быть переведено на природный газ.

Число легковых автомобилей, потенциально использующих природный газ в качестве топлива, примем в размере 2 % (в соответствии с общим числом газобаллонных автомобилей в мире) [7].

Таким образом, число газобаллонных автомобилей на природном газе по видам транспорта, проезжающих через изучаемые участки дорог, может составить (табл. 11).

Таблица 11

Прогнозируемое число автомобилей, используемых природный газ в качестве топлива к 2020 г.

Автомагистраль	Легковые, шт.	Грузовые, шт.	Автобусы, шт.	Итого
Р351	569	1125	260	1954
Р404	519	973	214	1706
Е22	257	444	154	855
Тюмень–Курган	218	130	47	395

Выводы

Проведенный эксперимент позволил подтвердить гипотезу о территориальном расположении АГНКС и их производительности в г. Тюмени, предложенную нами в работе [21], а именно:

1. На выезде из Тюмени по автомагистрали Е22 возле ТЭЦ-2 (производительность 125 условных заправок (УЗ)).

2. На выезде из Тюмени по автомагистрали Р351 рядом с п. Дербыши (производительность 250 УЗ).

3. На выезде из Тюмени по автомагистрали Р404 рядом с с. Яр (производительность 250 УЗ).

4. На выезде из Тюмени по автомагистрали "Тюмень – Курган" рядом с д. Патрушево (производительность 125 УЗ).

Рациональное территориальное и количественное строительство АГНКС в г. Тюмени может привести к росту не только газобаллонных автобусов и грузового транспорта, но и легковых автомобилей, как городского транспорта, так и транзитного, проходящего через рассмотренные автомагистрали.

В перспективе рассматриваемые расположения АГНКС могут стать частью всероссийского (соединяющего западные и восточные регионы России, а также Северные территории Западной Сибири) и международного (соединяющего территории России, Казахстана и Китая) "голубого транспортного коридора". Данному развитию сети АГНКС может способствовать также продолжающееся обустройство ряда новых газовых месторождений в восточной части России (Чаяндинское, Ковыктинское, Кшукское, Нижне-Квакчикское, Сахалинское и др.), строительство газотранспортной системы "Сила Сибири" и ввод в эксплуатацию газопроводов "Соболево – Петропавловск-Камчатский", "Сахалин – Хабаровск – Владивосток" и др.

Расширение использования природного газа автомобильным транспортом позволит снизить загрязнение окружающей среды вредными веществами, выбрасываемыми с отработавшими газами, и позволит диверсифицировать автомобильный топливный рынок нашей страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Regulation** (EU) № 333/2014 of the European Parliament and of the Council of 11 March 2014 amending Regulation (EC) № 443/2009 to define the modalities for reaching the 2020 target to reduce CO_2 emissions from new passenger cars. http://eur-lex.europa.eu./legalcontent/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.103.01.0015.01ENG (дата обращения: 15.03.2017).

2. **Model Year 2012–2016** Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards (дата обращения: 28.12.2017).

3. **ГОСТ Р 41.24–2003** Единообразные предписания, касающиеся: I. Сертификации двигателей с воспламенением от сжатия в отношении дымности; II. Сертификации автотранспортных средств в отношении установки на них двигателей с воспламенением от сжатия, сертифицированных по типу конструкции; III. Сертификации автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении дымности; IV. Измерения мощности двигателей. – М.: Стандартинформ, 2007. 36 с.

4. **ГОСТ Р 52033–2003.** Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке М.: Стандартинформ, 2007. 10 с.

5. **Chainikov D., Chikishev E., Anisimov I., Gavaev A.** Influence of ambient temperature on the CO_2 emitted with exhaust gases of gasoline vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Volume 142, 2016, 012109, doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012109.

6. **List** of countries by carbon dioxide emissions. [Electronic resource]: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 10.12.2017).

7. **NGV Statistics.** [Electronic resource]: http://www/ngvjournal.com/nhv-statistics-2/ (дата обращения: 28.12.2017).

8. **Chikishev E., Ivanov A., Anisimov I., Chainikov D.** Prospects of and problems in using natural gas for motor transport in Russia // 2016 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Volume 142, 2016, 012110, doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012110.

9. **Lim C., Kim, D., Song C., Kim J., Han J., Cha J.-S.** Performance and emission characteristics of a vehicle fueled with enriched biogas and natural gases // Applied Energy – Volume 139. P. 17–29, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.084.

10. **Ерохов В.И.** Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика). Учебник для студентов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" (УМО) М.: Изд-во: Горячая линия-Телеком, 2012. 598 с.

11. **Ерохов В.И.** Газодизельная система питания нового поколения // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – М.: Машиностроение. 2013. № 9 (78). С. 15–23.

12. **Hassan M.H., Kalam M.A., Mahlia T.M.I., Aris I., Nizam M.K., Abdullah S., Ali Y.** Experimental test of a new compressed natural gas direct injection engine // Energy and Fuels – Volume 23, Issue 10. P. 4981–4987, 2009, doi: 10.1021/ef8011382.

13. **Pastorello C., Dilara P., Martini G.** Effect of a change towards compressed natural gas vehicles on the emissions of the Milan waste collection fleet // Transportation Research Part D: Transport and Environment - Volume 16, Issue 2. P. 121–128, 2011, doi: 10.1016/j.trd.2010.09.002.

14. **Sahoo B.B., Sahoo N., Saha U.K.** Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines-A critical review // Renewable and Sustainable Energy Reviews – Volume 13, Issue 6–7. P. 1151–1184, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.08.003.

15. **Rose L., Hussain M., Ahmed S., Malek K., Costanzo R., Kjeang E.** A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city // Energy Policy – Volume 52. P. 453–461, 2013, doi: 10.1016/j.enpol.2012.09.064.

16. **Статистический** ежегодник мировой энергетики. [Electronic resource]: https://yearbook.enerdata.ru/ (дата обращения: 20.12.2017).

17. **Ogunlowo O.O., Bristow A.L., Sohail M.** Developing compressed natural gas as an automotive fuel in Nigeria: Lessons from international markets // Energy Policy – Volume 76. P. 7–17, 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2014.10.025.

18. **Chinese D., Patrizio P., Bonotto M.** A service station location model to explore prospects and policies for alternative transport fuels: A case of CNG distribution in Italy // Advances in Intelligent Systems and Computing – Volume 262. P. 71–84, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-04630-3_6.

19. **Frick M., Axhausen K.W., Carle G., Wokaun A.** Optimization of the distribution of compressed natural gas (CNG) refueling stations: Swiss case studies // Transportation Research Part D: Transport and Environment, 12 (1). P. 10–22, 2007, doi: 10.1016/j.trd.2006.10.002.

20. **Anisimov I., Ivanov A., Chikishev E., Chainikov D., Reznik L.** Assessment of gas cylinder vehicles adaptability for operation at low ambient temperature conditions // WIT Transactions on Ecology and the Environment, 190 Volume 1. P. 685–695, 2014, doi: 10.2495/EQ140651.

21. **Chikishev E., Chainikov D., Anisimov I.** Increasing the use of natural gas on motor transport by an efficient location of the NGV RS (on the ex-ample of Tyumen) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – Volume 50, 012004, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/50/1/012004.

22. **Мкртычан Я.С.** Основные принципы построения городской сети газоснабжения автотранспорта // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 3 (33). С. 10–14.

23. **Chikishev E. Chikisheva A., Chainikov D., Anisimov I.** Natural gas use on minibuses, engaged in the carriage of passengers and baggage on the regular routes, as a measure for decrease in harmful environment effects // – Volume 50, 2017, 012008, doi: 10.1088/1755-1315/50/1/012008.

24. **Обухова Н.А., Цариков А.А.** Анализ временной неравномерности загрузки улично-дорожной сети транспортными потоками в городах Урала и Сибири // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Екатеринбург: ОАО "Гипродонии". № 5 (64). С. 102–108.

УДК 621.433.2, 621.436

ГАЗОПОРШНЕВЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩИЕ НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ*

В.А. Марков, д-р техн. наук; **А.Ю. Чирков,** д-р физ.-мат. наук; **В.М. Зайченко,** д-р техн. наук, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана);
А.И. Цыплаков, Л.Б. Директор, д-р техн. наук, Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва

Обоснована необходимость использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрены виды альтернативных топлив, используемых в бензиновых двигателях и дизелях. Показаны преимущества использования газообразных альтернативных топлив. Рассмотрена организация рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания на генераторном газе. Представлены двигатели внутреннего сгорания, работающие на генераторном газе.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания; дизельный двигатель; газодизельный двигатель; газовый двигатель; нефтяное дизельное топливо; альтернативное топливо; генераторный газ.*

GAS-PISTON POWER PLANTS RUNNING ON GENERATOR GAS

Markov V.A., Dr. of technical sciences; **Chirkov A.Yu.,** Dr. of phys.-mat. sciences; **Zaichenko V.M.,** Dr. of technical sciences, MGTU im. N. E. Bauman; **Tsyplakov A.I., Direktor L.B.,** Dr. of technical sciences, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Types of alternative fuels used in gasoline engines and diesel engines are considered. The necessity of using alternative fuels in internal combustion engines is shown. Advantages of using gaseous alternative fuels are shown. Organization of the working process of the internal combustion engine running on generator gas is considered. Internal combustion engines running on generator gas are shown.

Keywords: *internal combustion engine; diesel engine; gas-diesel engine; gas engine; petroleum diesel fuel; alternative fuel; generator gas.*

Тенденции и перспективы дальнейшего развития топливно-энергетического комплекса и двигателестроения в значительной степени определяются наличием сырьевых ресурсов для производства моторных топлив, а также действующими нормативными документами на выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами (ОГ) энергетических установок различного назначения. В настоящее время в двигателях внутреннего сгорания используются, главным образом, топлива нефтяного происхождения. Для этих целей расходуется более 50 % от общего количества добываемой нефти [1]. При этом следует отметить неизбежность постепенного истощения мировых запасов нефти, используемой в настоящее время для производства моторных топлив. Данные рис. 1 свидетельствуют о том, что подтвержденные в настоящее время мировые запасы нефти превышают 1,2 трлн баррелей. При современном уровне потребления энергоресурсов заметное истощение месторождений жидких ископаемых углеводородов может наступить уже в ближайшие 50–70 лет [2]. Повсеместная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, в первую очередь в транспортных энергетических установках, приводит к значительному загрязнению атмосферы вредными веществами, образующимися при сгорании нефтяных моторных топлив [3].

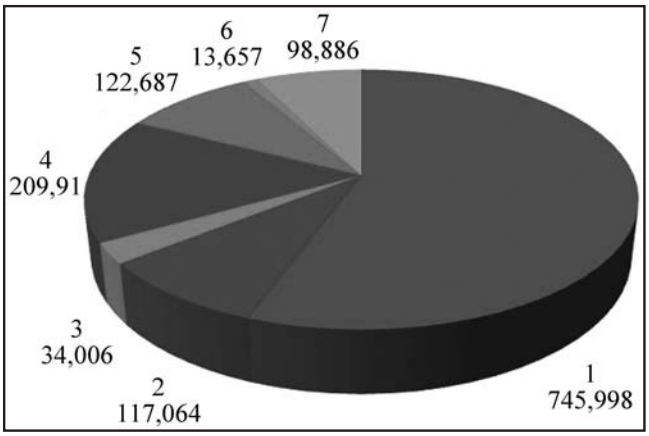


Рис. 1. *Подтвержденные мировые запасы нефти [миллиарды баррелей]:*
1 – Ближний и Центральный Восток; *2* – Африка; *3* – Азия и Океания; *4* – Северная Америка; *5* – Россия и страны СНГ; *6* – Западная Европа; *7* – Латинская Америка (около каждой из этих цифр приведены запасы нефти в миллиардах баррелей; 1 баррель составляет около 160 л)

Анализ тенденций развития двигателестроения показывает, что в ближайший период развития мировой экономики не предвидится кардинальной смены основных типов двигателей внутреннего сгорания. Согласно прогнозам специалистов к 2030 г. доля бензиновых и дизельных двигателей, а также реактивных двигателей составит около

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) – проект № 17-08-01233 "Моделирование, экспериментальное исследование и оптимизация рабочих процессов в перспективных газопоршневых двигателях при работе на попутном нефтяном газе" (2017–2019 гг.).

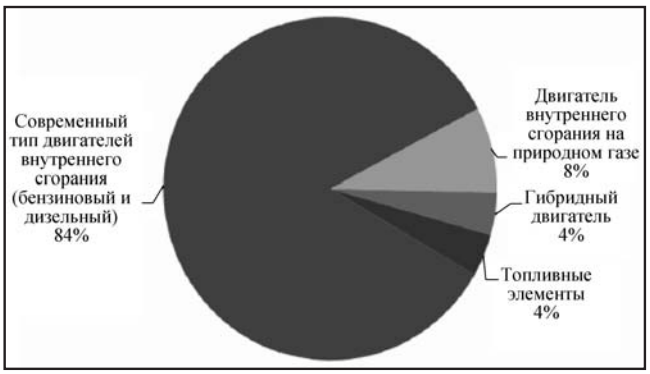


Рис. 2. *Прогноз использования различных типов двигателей в 2030 г.*

84 % (рис. 2) [4]. Это неизбежно повлечет за собой рост потребления углеводородных моторных топлив нефтяного происхождения. Причем наибольшим спросом будут пользоваться автомобильный бензин и дизельное топливо. Вместе с тем динамика развития топливного баланса России, характеризуемая сравнительно небольшим приростом общего объема добычи и переработки нефти и значительным увеличением потребления моторных топлив, неизбежно приведет к их дефициту.

Необходимо отметить тенденцию быстрого роста автомобильного парка. К началу 2001 г. мировой автомобильный парк насчитывал почти 700 млн автомобилей со средним ежегодным темпом роста их численности 2–3 %. В 2001 г. в США на 1000 чел. приходилось 700 автомобилей, в Великобритании – 410, в Японии – 340. В России в 2010 г. этот показатель достиг 370 автомобилей. Парк автомобилей в г. Москве только за последние 20 лет (с 1990 по 2010 гг.) увеличился с 800 тыс. до 3600 тыс. автомобилей, т.е. примерно в 4,5 раза [4]. Такая тенденция развития мирового и отечественного автомобильного парка приводит к необходимости увеличения производства моторных топлив. В свою очередь, рост производства моторных топлив и количества автомобилей неизбежно влечет за собой увеличение выброса в атмосферу вредных веществ и ухудшение экологической обстановки в крупных городах.

Экологическая безопасность автотранспортных средств в значительной степени определяется составом и уровнем концентрации вредных веществ ОГ двигателей автомобилей. Динамика изменения выброса вредных веществ автомобильным парком России приведена на рис. 3 [4]. Выброс контролируемых вредных веществ за период с 1950 по 2004 г. сократился в 2,8 раза. Максимальный выброс вредных веществ (ВВ) отечественным автопарком достиг в 1994 г. и составил 16 млн т, а к 2008 г. он снизился до 11,5 млн т. Это объясняется тем, что до недавнего времени средний возраст автомобилей страны превышал 10 лет. До 10 % автомобилей имели возраст более 20 лет, и эти автомобили не соответствовали требованиям экологической сертификации.

Указанные факторы подтверждают необходимость постепенного замещения нефтяных моторных топлив альтернативными топливами, получаемыми из ненефтяных сырьевых ресурсов. Наибольшие перспективы использования имеют новые экологически чистые моторные топлива. При выборе сырьевого ресурса для производства альтернативных моторных топлив необходимо учитывать целый ряд показателей и критериев, характеризующих эффективность производства и потребления этих топлив. Основными критериями качества моторных топлив по-прежнему остаются их

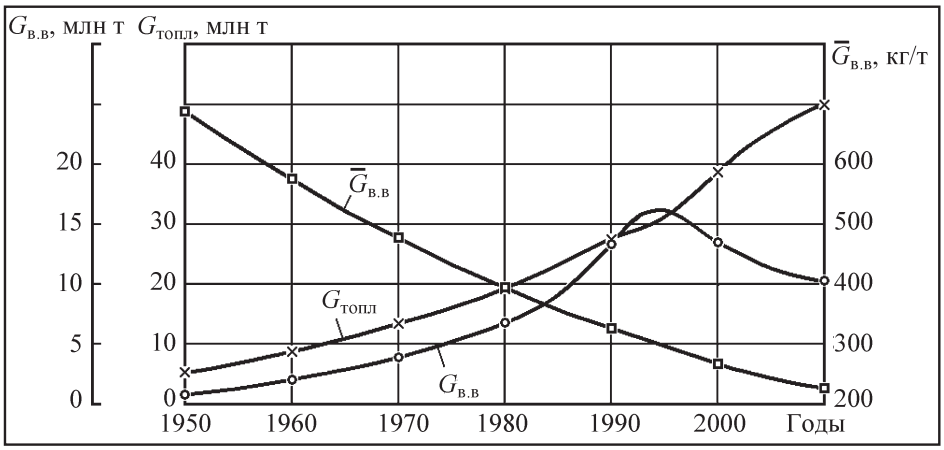


Рис. 3. *Динамика изменения годового расхода моторных топлив в Российской Федерации $G_{топл}$, выбросов вредных веществ в атмосферу, образующихся при сжигании моторных топлив $G_{вв}$, и относительных выбросов вредных веществ, отнесенных к тонне сгоревшего топлива $\overline{G}_{вв}$*

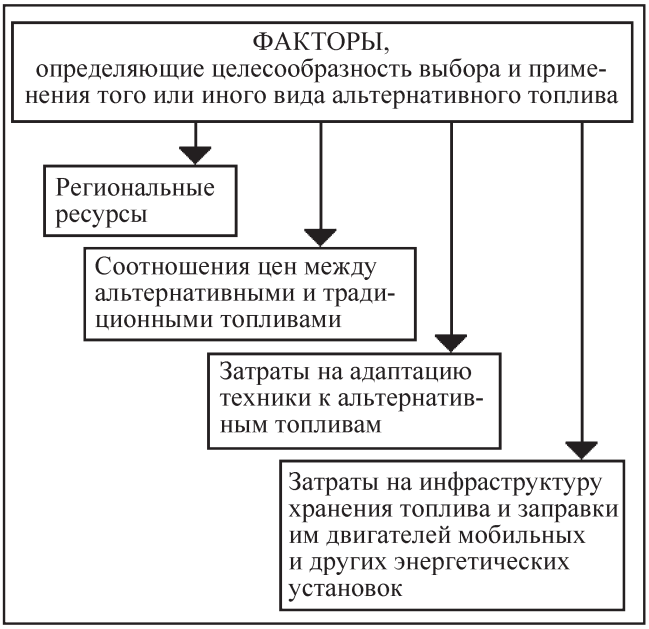


Рис. 4. *Основные факторы, определяющие целесообразность выбора вида альтернативного топлива*

технико-экономические характеристики, включая стоимость производства того или иного вида альтернативного топлива. Возможности выбора и применения того или иного вида альтернативного топлива определяются факторами, представленными на рис. 4 [1]. Среди этих факторов можно выделить наличие сырьевых ресурсов для производства альтернативного топлива в данном регионе и его сравнительно небольшая стоимость в сравнении с нефтяным топливом. Важным фактором, определяющим целесообразность использования альтернативного топлива, является близость его свойств к свойствам нефтяного топлива, позволяющая минимизировать затраты на адаптацию серийных двигателей к работе на этом альтернативном топливе. Кроме того, близость этих свойств позволяет использовать имеющуюся инфраструктуру для хранения топлива и заправки им транспортных средств и других энергетических установок. В связи с ухудшающейся экологической обстановкой, особенно в крупных городах, и ужесточением нормативов по охране окружающей среды от вредных продуктов сгорания всех видов топлива, к указанным факторам добавляются экологические показатели самих топлив, а также двигателей, работающих на этих топливах.

Среди альтернативных моторных топлив наиболее перспективными являются топлива, производимые из возобновляемых сырьевых ресурсов растительного и животного происхождения [2]. Эти топлива можно разделить на две большие группы – жидкие и газообразные моторные топлива. К наиболее распространенным альтернативным жидким топливам можно отнести биоэтанол, используемый, в основном, как присадка к автомобильным бензинам, и биодизельные топлива, среди которых наибольшее применение нашел метиловый эфир рапсового масла. К газообразным альтернативным топливам относятся биогаз, биоводород, различные генераторные (пиролизные) газы, получаемые путем газификации биомассы и твердых бытовых отходов.

Особенность использования газообразных топлив заключается в том, что они находятся в одном агрегатном состоянии с окислителем – воздухом. Это облегчает организацию смесеобразования, позволяет получить гомогенную топливовоздушную смесь, обеспечить ее полное сгорание. Предотвращается попадание топлива на стенки цилиндра и в моторное масло, что имеет место при использовании жидких топлив. Это позволяет снизить износ деталей двигателя и увеличить срок службы моторного масла. Но при переводе двигателей внутреннего сгорания на газообразные топлива в их конструкцию, как правило, необходимо внести дополнительные конструктивные изменения, связанные с необходимостью организации рабочего процесса двигателя, обеспечивающего требуемые показатели качества процессов самовоспламенения и сгорания этих топлив.

Среди газообразных моторных топлив следует выделить генераторные (пиролизные) газы, для получения которых имеется обширная сырьевая база. Это отходы животноводства и растениеводства, пищевые отходы, отходы деревообрабатывающей промышленности, твердые бытовые отходы. Генераторные газы представляют собой смесь газов, образующихся в процессе газификации (пиролиза) различных твердых органических отходов (биомассы) в газогенераторных установках. При пиролизе происходит термическое разложение органических соединений при недостатке кислорода, температурах 800–900 °С и давлениях, близких к атмосферному [5, 6]. Выделяют первичные пиролизные реакции (разрушение тяжелых углеводородных молекул) и вторичные (синтез тяжелых углеводородов из низкомолекулярных непредельных углеводородов – эти реакции протекают, преимущественно, на поздних стадиях пиролиза). В ре-

зультате пиролиза получают пиролизный газ, легкую смолу (пиробензин) и тяжелую пиролизную смолу (температура начала кипения около 200 °С). Пиролизный газ может быть использован в качестве альтернативного моторного топлива.

Следует отметить, что газовые двигатели обычно создаются на базе серийно выпускаемых двигателей, работающих на жидком топливе. При конвертировании двигателей внутреннего сгорания к работе на газообразных топливах в качестве базовых двигателей могут быть использованы как бензиновые двигатели (двигатели с принудительным воспламенением рабочей смеси от свечи зажигания), так и дизельные двигатели (двигатели с воспламенением рабочей смеси от теплоты сжатия) [1, 7]. Генераторные (пиролизные) газы целесообразно сжигать в дизелях, отличающихся от двигателей с принудительным воспламенением рабочей смеси повышенными степенями сжатия α и коэффициентами избытка воздуха α [8, 9]. Но при этом генераторные газы, отличающиеся плохой воспламеняемостью в условиях камеры сгорания (КС) дизеля, обычно воспламеняют от запальной дозы дизельного топлива. Преимуществом использования генераторных газов в двигателях с принудительным воспламенением рабочей смеси является возможность их воспламенения от свечи зажигания, что позволяет организовать однотопливную работу двигателя.

Генераторные газы могут быть использованы в качестве топлива для двигателей различного назначения. Вместе с тем применение этих газов на транспорте осложняется отсутствием инфраструктуры снабжения и заправки транспортных средств этим видом топлива. Кроме того, генераторные газы имеют малую энергоемкость – низкую объемную теплоту сгорания, обычно не превышающую H_u = 5 МДж/м^3 (у метана низшая теплота сгорания газа составляет около H_u = 34 МДж/м^3, а у бензина – примерно H_u = 35 МДж/л). Типичный состав генераторного газа, получаемого из древесной коры, торфа, древесины: содержание монооксида углерода CO – 23–26 % (объемное), водорода H_2 – 10–15 %, метана CH_4 – 2–3 %, других легких углеводородов CH_x – 0,5 %, азота и углекислого газа (N_2 + CO_2) – 55–62 % [6]. Это требует оснащения транспортного средства баллонами с этим газом, что существенно снижает грузоподъемность транспортного средства. В связи с этим более целесообразным представляется использование генераторного газа в качестве топлива для стационарных двигателей, в частности для двигателей генераторных установок, производящих электрический ток.

Газопоршневые двигатели, использующие генераторный газ в качестве моторного топлива и применяемые в электроагрегатах мощностью 30–350 кВт, создаются, как правило, на базе быстроходных дизелей автотракторного типа. Эти двигатели работают при частоте вращения коленчатого вала, равной 1500 мин$^{-1}$, что позволяет вырабатывать переменный электрический ток генератора с частотой 50 Гц. В большинстве случаев базовый дизель оснащен системой турбонаддува. Применение турбонаддува в газовом двигателе обеспечивает повышенные температуры деталей, образующих КС дизеля, и улучшенные характеристики по удельным мощностным, экономическим и массогабаритным показателям электроагрегата. Это особенно важно в случае использования в качестве моторного топлива генераторного газа с низким энергосодержанием. При мощностях до 100 кВт возможно создание газового двигателя с приемлемыми характеристиками и на базе безнаддувного дизеля.

Газопоршневые двигатели, используемые в качестве первичного теплового двигателя электрогенератора, различают по трем основным признакам [8, 9]:

– по числу тактов – двух- и четырехтактные;

– по способу смесеобразования – внешнее (с использованием газового карбюратора или газовой форсунки во впускном коллекторе) и внутреннее (с подачей газа непосредственно в цилиндр);

– по способу воспламенения рабочей смеси – искровое зажигание, зажигание от воспламеняющей дозы жидкого дизельного топлива (газодизель), форкамерно-факельное зажигание.

В настоящее время в подавляющем большинстве случаев в качестве привода газопоршневых электроагрегатов мощностью до 350 кВт используются быстроходные четырехтактные газовые двигатели с внешним смесеобразованием, с воспламенением рабочей смеси от искры (теоретический рабочий цикл с подводом теплоты при постоянном объеме V = const). Применение генераторного газа (или других газообразных топлив, в частности нефтяного попутного газа) в качестве моторного топлива предполагает обязательное использование в конструкции двигателя турбонаддува. Поэтому необходимо рассмотреть основные теоретические

положения, характеризующие рабочий цикл V = = const, а также проанализировать особенности работы двигателя с турбонаддувом, в котором реализован цикл V = const, в составе газопоршневого электроагрегата, его регулирования, а также некоторые применяемые конструктивные решения.

Для оценки эффективности использования энергии топлива рассмотрим цикл с подводом тепла по изохоре, характерный для двигателей с искровым зажиганием газовоздушной смеси. Теоретический цикл газопоршневого двигателя с внешним смесеобразованием и воспламенением от искры отличается от действительного полным и мгновенным (при V = const) тепловыделением. Термический КПД такого цикла η_t зависит лишь от степени сжатия ε и вида рабочего тела (показатель адиабаты k):

$$\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{k-1}.$$

Разница теоретического и действительного (индикаторного) η_i КПД циклов характеризует величину потерь вследствие неполноты и несвоевременности сгорания. В современной теории двигателей принято оценивать совершенство рабочего цикла не разностью ($\eta_t - \eta_i$), а относительным КПД $\eta_{отн}=\eta_i/\eta_t$. Опуская промежуточные рассуждения, подробно изложенные в работах [9–11], выражение для относительного КПД можно записать как

$$\eta_{отн} = \eta_{отн.\ действ}\,\eta_{сг},$$

соответственно, для действительного (индикаторного) КПД

$$\eta_i = \eta_{сгн.\ действ}\,\eta\eta_t.$$

В представленных выражениях $\eta_{сг}$ характеризует потери тепла за период выгорания всего топлива (в основном за счет химического недогорания и теплоотвода к стенкам КС) и равен коэффициенту активного тепловыделения к концу сгорания всего топлива. При этом коэффициент активного тепловыделения равен отношению количества активного тепла (т.е. тепла, использованного на увеличение внутренней энергии и совершение работы сгоревших газов) к количеству тепла, введенного в цикл с топливом [10]. Действительный относительный КПД показывает степень приближения действительного термодинамического цикла к теоретическому и характеризует совершенство использования в нем выделившегося активного тепла по сравнению с теоретическим циклом V= const при мгновенном тепловыделении в верхней мертвой точке (ВМТ) [10].

Эффективный КПД двигателя η_e показывает степень совершенства преобразования внесенной с топливом теплоты в механическую работу и зависит от механического КПД $\eta_м$:

$$\eta_e = \eta_i\,\eta_м.$$

Электрический КПД газопоршневого электроагрегата показывает степень совершенства преобразования внесенной с топливом теплоты в электроэнергию и зависит от степени совершенства электрогенератора (электромеханический КПД генератора $\eta_{эмг}$):

$$\eta_{эл} = \eta_e\,\eta_{эмг}$$

или

$$\eta_{эл} = \eta_i\,\eta_м\,\eta_{эмг}.$$

Последнее выражение показывает, что повышение топливной эффективности газопоршневых электроагрегатов необходимо осуществлять за счет:

– совершенствования рабочего процесса двигателя: выбора максимально возможной степени сжатия, оптимизации формы камеры сгорания, повышения скорости и полноты сгорания, использования обедненной газовоздушной смеси в сочетании с интенсификацией процесса ее воспламенения [10–14];

– снижения доли механических потерь самого двигателя, прежде всего, путем уменьшения рабочего объема двигателя с одновременным использованием повышенного давления наддува с обязательным предварительным охлаждением газовоздушной смеси;

– совершенствования конструкции электрического генератора, снижения механических и электрических потерь.

При испытаниях электроагрегата электрический КПД определяется путем измерения активной электрической мощности на клеммах генератора и расхода газового топлива:

$$\eta_{эл} = 3600 N_{эл} / (H_u Q_г),$$

где $N_{эл}$ – активная электрическая мощность на клеммах генератора, кВт; H_u – низшая теплотворная способность газового топлива, МДж/нм^3; $Q_г$ – расход газового топлива, нм^3/ч.

Процесс сгорания в газовом двигателе с искровым воспламенением считается нормальным, когда газовоздушная смесь воспламеняется электрической искрой свечи и сгорает в процессе распространения турбулентного фронта пламени с такими скоростями, что быстрое повышение давления в результате сгорания начинается за 12–15 град. поворота коленчатого вала (п.к.в.) до ВМТ и практически заканчивается до начала заметного расширения, обусловленного движением поршня. Наибольшая мощность при этом достигается в том случае, когда максимум давления находится в пределах 12–15 град. п.к.в. после ВМТ [10–14].

При некоторых случаях описанный нормальный процесс сгорания может нарушаться, что отражается на мощностных и экономических показателях двигателя, его надежности и ресурсе. К таким нарушениям относятся:

– пропуски воспламенения в цилиндрах, которые появляются в результате переобеднения смеси (работа с большим коэффициентом воздуха α), пропусков искрообразования, малой мощности искры; двигатель при этом не запускается или не развивает мощности;

– вспышки во впускной системе; могут происходить из-за малой скорости сгорания в цилиндрах, главным образом, вследствие переобеднения смеси или позднего зажигания; смесь продолжает гореть на такте выпуска и в момент перекрытия клапанов может воспламенить смесь во впускном коллекторе, что воспринимается как хлопок в газовоздушном смесителе и воздушном фильтре;

– преждевременное (до появления искры) самовоспламенение смеси в цилиндре, которое возможно при местном перегреве в камере сгорания (выпускные клапаны, свеча зажигания, отдельные участки КС или при перегреве нагара на этих поверхностях), так называемое калильное зажигание; воспринимается как глухие стуки на общем шумовом фоне работы двигателя. Происходящее при калильном зажигании повышение давления и температуры (из-за сгорания в процессе сжатия) приводит к перегреву поршня и к его прогару;

– детонация – сложный процесс, развивающийся в горючей смеси при особых условиях. Внешние признаки детонации проявляются как звонкий металлический стук в цилиндрах двигателя, снижение мощности и перегрев двигателя, выброс из выпускной системы черного или серого дыма (частицы нагара, сорванные ударными волнами со стенок КС); на индикаторной диаграмме, записанной при детонации, в зоне максимальных давлений отмечается резкое колебание давления в виде острых пиков.

Детонационное сгорание возникает в наиболее удаленном от свечи месте, расположенном около горячих стенок. Смесь в таких местах сильно нагревается и подвергается интенсивному сжатию при распространении фронта пламени, в ней образуются химически активные продукты (углеводородные радикалы, перекиси, атомы водорода и кислорода). В результате возникает самовоспламенение смеси; сгорание принимает детонационный характер с образованием в зоне самовоспламенения ударных волн [11]. При детонации пламя (зона химической реакции) распространяется по исходной горючей смеси со сверхзвуковыми скоростями совместно с фронтом ударной волны [13]. Отражаясь от стенок КС, ударная волна образует новые волны и очаги самовоспламенения, приводящие к образованию монооксида углерода, углерода, кислорода, водорода и поглощению теплоты. Ударные волны резко увеличивают теплоотдачу к стенкам, механические и тепловые нагрузки на детали. Поверхности КС подвергаются интенсивной газовой эрозии (рис. 5), являющейся причиной поломки верхних поршневых колец, эрозионного

Рис. 5. *Эрозия поверхности головки поршня газового двигателя, вызванная сильной детонацией. Двигатель 12Ч18/20 в составе электроагрегата мощностью 500 кВт, топливо – попутный газ с низким октановым числом*

разрушения поршней и головок цилиндров, нарушения герметичности газового стыка.

Возникновению детонации, ее интенсификации способствуют топлива с малыми октановыми числами, стехиометрический или близкий к нему состав смеси, раннее зажигание, высокие степень сжатия и величина давления наддува, высокая температура смеси на впуске, перегрев стенок КС, увеличение размеров цилиндров [11, 13]. Уменьшение вероятности возникновения детонации или ее подавление в случае возникновения обеспечиваются правильным выбором степени наддува и степени сжатия двигателя в зависимости от детонационных характеристик газового топлива, контролем с помощью микропроцессорных систем состава смеси, опережения зажигания, а также температурного и нагрузочного режима двигателя в процессе его работы.

Любой двигатель, в том числе и газовый, используемый для привода электрогенератора, работает в широком диапазоне нагрузок при примерно постоянной частоте вращения коленчатого вала (частоте переменного тока генератора), что необходимо для выполнения требований по качеству вырабатываемой электроэнергии (ГОСТ 13822–82) [15]. Эти требования (прежде всего, по отклонению частоты от номинального значения) относятся как к установившимся, так и к переходным режимам.

По принципу действия и по устройству системы питания атмосферные (безнаддувные) четырехтактные газовые двигатели с воспламенением от искры и с внешним смесеобразованием ничем не отличаются от карбюраторных бензиновых двигателей. Газ к двигателю поступает из газовой магистрали через газовый редуктор, поддерживающий давление газа на некотором постоянном уровне ("ноль-регулятор"), и затем через смеситель (газовый карбюратор), где газ смешивается в нужном соотношении с воздухом. В случае использования генераторного газа его подача осуществляется непосредственно от газогенератора за счет естественного всасывания на такте впуска. В диффузоре смесителя создается разрежение, пропорциональное расходу воздуха (нагрузке двигателя); расход газа, поступающего в смеситель под воздействием этого разрежения, изменяется в соответствии с расходом воздуха. При этом коэффициент избытка воздуха α остается практически неизменным и определяется только соотношением площадей сечения воздушного и газового каналов смесителя. Для выполнения требований по токсичности ОГ (если таковые предъявляются к электроагрегату) газовый тракт смесителя может оснащаться устройством регулирования расхода газа с электронным управлением (так называемое "альфа-регулирование").

Количество газовоздушной смеси, поступающей в атмосферный двигатель, и его мощность (при прочих неизменных факторах – частоте вращения, составе смеси, температурным режимом и т.п.) однозначно определяются положением (углом поворота) дроссельной заслонки, управляемой механическим или электронным регулятором частоты вращения, причем большему значению мощности двигателя соответствует больший угол поворота заслонки. Полностью открытая заслонка соответствует предельной мощности двигателя; такой режим работы возникает кратковременно, при резком увеличении ("набросе") нагрузки электроагрегата. (Здесь и далее под понятиями "нагрузка" и "мощность" имеется в виду электрическая активная мощность на зажимах генератора.)

На установившемся режиме работы электроагрегата соблюдается равенство мощности двигателя и внешней нагрузки (активной электрической мощности и мощности потерь электрогенератора). Орган управления (дроссельная заслонка) находится в определенном положении, обеспечивающем такой расход газовоздушной смеси, который соответствует равенству мощности двигателя и внешней нагрузки, что необходимо для поддержания постоянства частоты вращения на установившемся режиме. Любые воздействия, вызывающие изменение мощности двигателя (такие как межцилиндровая нестабильность процесса сгорания, опережение зажигания, состав смеси и т.д.) или изменение мощности внешней электрической нагрузки, приводят к изменению частоты вращения. Система регулирования, получая информацию об изменении частоты вращения, перемещает дроссельную заслонку в новое положение, обеспечивая поступление такого количества газовоздушной смеси, которое необходимо для выполнения равенства новых значений мощности двигателя и внешней нагрузки. Переходный процесс заканчивается восстановлением заданной частоты вращения. Следует отметить, что на установившемся номинальном режиме работы электроагрегата дроссельная заслонка атмосферного газового двигателя находится в приоткрытом на 45–50 % (от полностью открытого) положении, при этом разрежение

за заслонкой во впускном коллекторе находится в пределах 0,020–0,025 МПа, соответственно абсолютное давление во впускном коллекторе равно $P_{вп}$ = 0,075–0,080 МПа. Такое положение дроссельной заслонки и указанное значение давления $P_{вп}$ являются необходимыми условиями для устойчивого поддержания частоты вращения системой регулирования на режиме номинальной мощности.

Газовый двигатель с турбонаддувом имеет в составе системы подачи газовоздушной смеси турбокомпрессор, приводимый в действие отработавшими газами. Применение турбонаддува позволяет значительно увеличить мощностные показатели газовых двигателей, особенно при использовании газового топлива с низким энергосодержанием: генераторного газа, биогаза, а также при использовании бедной смеси в малотоксичных процессах сгорания. Турбокомпрессор обеспечивает подачу газовоздушной смеси в цилиндры двигателя под давлением больше атмосферного, а следовательно, и в большем количестве, чем позволяет рабочий объем цилиндров двигателя при атмосферном впуске. Сжатие в турбокомпрессоре газовоздушной смеси сопровождается значительным повышением ее температуры, поэтому в ряде случаев (при высоком наддуве) в состав газовоздушной системы двигателя входит промежуточный охладитель газовоздушной смеси. Охладитель смеси, как правило, устанавливается во впускной магистрали между турбокомпрессором и дроссельной заслонкой. В остальном система питания газового двигателя не отличается от системы питания атмосферного двигателя.

В двигателе с турбонаддувом количество энергии, поступающей с газовоздушной смесью в цилиндры двигателя, а следовательно, и его мощность определяются как положением дроссельной заслонки, так и величиной давления смеси после компрессора $P_к$. При работе на режимах частичной мощности (соответствующей величинам абсолютного давления во впускном коллекторе за дросселем до 0,08 МПа) расход газовоздушной смеси двигателем определяется, в основном, положением дроссельной заслонки. На указанных установившихся режимах дроссельная заслонка может быть установлена системой регулирования в положение от 5–10 до 45–50 % (100 % – полное открытие), а процесс регулирования не отличается от такового для атмосферного двигателя. При дальнейшем увеличении внешней нагрузки система регулирования кратковременно полностью открывает дроссельную заслонку. Увеличение подачи смеси приводит к увеличению количества ОГ, которые, срабатывая на турбине, увеличивают частоту вращения ротора турбокомпрессора. Турбокомпрессор переходит на новый режим работы, обеспечивая увеличение давления наддува $P_к$ и расхода газовоздушной смеси до новых значений, необходимых для поддержания равенства мощностей двигателя и электрической внешней нагрузки. По окончании переходного процесса дроссельная заслонка прикрывается системой регулирования до положения 45–55 % и, совершая регулирование расхода газовоздушной смеси, с новым значением давления $P_к$, тем самым регулирует расход ОГ двигателя, поступающих в турбину. Дальнейшее увеличение нагрузки характеризуется лишь увеличением давления наддува $P_к$ до величины, обеспечивающей равенство мощности двигателя и внешней нагрузки, а дроссельная заслонка, кратковременно открываясь (либо закрываясь при уменьшении нагрузки) и обеспечивая переход турбокомпрессора на новый установившийся режим, возвращается в прежнее полуоткрытое положение. Устойчивое поддержание частоты вращения вала двигателя при таком регулировании возможно при разности давлений ($P_к$ – $P_{вп}$) большей чем 0,020–0,025 МПа.

В случае использования генераторного газа (или других низкокалорийных газов) в качестве моторного топлива для двигателя с турбонаддувом необходимо обеспечивать подачу увеличенного на 25–50 % по объему количества газовоздушной смеси в его цилиндры (по сравнению с природным газом), что является необходимым условием равенства мощности на генераторном и природном газах. Это достигается использованием турбокомпрессора более высокой производительности, подающего низкокалорийную газовоздушную смесь в систему впуска двигателя под увеличенным давлением. В этом случае в некоторых конструкциях газовых двигателей с высоким давлением наддува для уменьшения времени выхода на новый установившийся режим при резких изменениях нагрузки система регулирования управляет одновременно дроссельной заслонкой и клапаном турбобайпаса (например, двигатели Jenbacher, работающие на низкокалорийном газе). Следует заметить, что все газопоршневые двигатели с внешним смесеобразованием и турбонаддувом при работе электроагрегата в автономном режиме обладают плохой приемистостью. Темп и величина шага нагружения (в процентах от номинальной мощности) ого-

вариваются инструкциями по эксплуатации производителями на каждый конкретный электроагрегат.

Известно, что работа газопоршневого двигателя и электроагрегата на его базе на генераторном газе сопровождается снижением (по сравнению с работой на природном газе) мощности на 20–45 %. Это происходит вследствие низкого объемного энергосодержания газовоздушной смеси и особенностей сгорания монооксида углерода CO и водорода H_2, являющихся основными горючими компонентами генераторного газа. Компенсация потерь мощности возможна за счет увеличения массового количества подаваемой в цилиндры двигателя газовоздушной смеси путем использования в газопоршневом двигателе следующих конструктивных решений:

– использование в качестве привода генератора атмосферного двигателя увеличенного рабочего объема;

– использование газотурбинного наддува на атмосферном двигателе;

– применение турбокомпрессора увеличенной производительности на двигателе, уже имеющем систему наддува;

– использование эффективного охладителя газовоздушной смеси после турбокомпрессора ("интеркулера").

Возможно дополнительно улучшить мощностные и экономические показатели газового двигателя за счет некоторого увеличения степени сжатия ε, так как присутствие в генераторном газе монооксида углерода CO и инертных газов (азота N_2 и углекислого газа CO_2) обеспечивает его высокие антидетонационные свойства.

В газовом двигателе, работающем на генераторном газе, необходимо применение газовоздушного смесителя (газового карбюратора) специальной конструкции, поскольку оптимальные значения коэффициента избытка воздуха, пределы эффективного обеднения и воспламенения смеси для природного и генераторного газов существенно различаются. В тех случаях, когда двигателю газопоршневого электроагрегата не предъявляются повышенные требования по экономичности и соответствию нормам токсичности ОГ, следует настраивать газорегулирующую аппаратуру на несколько обогащенный или стехиометрический состав газовоздушной смеси.

Все ведущие зарубежные фирмы – производители газопоршневых двигателей (Caterpillar, Jenbacher, MAN и др.) предусматривают их работу на низкокалорийных газах, содержащих водород и монооксид углерода, и широко используют перечисленные мероприятия для улучшения показателей двигателей. Так, в руководстве по выбору, монтажу и эксплуатации газовых двигателей серий G3300 и G3500 [16] фирма Caterpillar допускает работу этих двигателей на низкокалорийных газах (в них использован процесс сгорания сверхбедной смеси при применении природного газа). В этом случае двигатель оснащается специальной системой питания газом, обеспечивающей стехиометрический состав смеси [16].

Фирма Jenbacher поставляет заказчику газовые двигатели (предназначенные для работы на низкокалорийных газах с низшей теплотой сгорания H_U = 1,5–3,0 МДж/м^3, в частности на водородсодержащих газах – отходах химических производств) со специально адаптированными газосмесителями, турбокомпрессорами и электронной системой управления двигателем Leanox. Некоторые низкокалорийные газы (пиролизный, древесный и др.) из-за особенностей их получения не могут быть накоплены в резервуарах, поэтому они сразу направляются в газовый тракт двигателей. В процессе работы может меняться как состав смеси, так и нагрузка на двигатель. Контроллер системы управления Leanox непрерывно отслеживает состав смеси (регулируемый газосмеситель), расход смеси (дроссельная заслонка), нагрузку, давление наддува (регулируемый байпас, позволяющий изменять расход ОГ через турбину). Таким образом, достигается динамичная и точная адаптация двигателя к изменениям качества газа и нагрузки. Отмечается также, что возможно доведение показателей двигателей на низкокалорийных газах до аналогичных показателей на природном газе при существенном снижении токсичности, особенно по оксидам азота NO_x [17, 18].

В 2001 г. в США была разработана и начала действовать государственная программа ARES (Advanced Reciprocating Engine Systems), участниками которой являются три ведущих производителя газовых двигателей – фирмы Caterpillar, Cummins и Waukesha [19]. Программа, конечной целью которой является вывод на рынок энергетических установок на базе газовых двигателей с КПД 50 %, охватывает мощностной ряд от 500 до 6500 кВт. Программа включает следующие направления (интересные с точки зрения решения задачи создания высокоэффективного газового двигателя, использующего генераторный газ):

– передовые технологии зажигания; увеличение срока службы системы зажигания, повышение надежности в эксплуатации;

– передовые технологии горения, повышение КПД двигателя, снижение уровня выбросов, сокращение времени горения, снижение детонации, разработка передовых концепций горения;

– разработка и использование передовых материалов и покрытий для работы элементов конструкции двигателя при высоких температурах горения, новых антифрикционных покрытий, материалов и масел для снижения потерь на трение.

Сообщается о некоторых результатах, достигнутых названными фирмами в ходе выполнения программы ARES [19]. Фирмой Cummins на базе двигателя QSV91, модернизированного по программе ARES, при испытаниях получен КПД, равный 44 %, с использованием цикла Миллера при допустимых уровнях выбросов оксидов азота NO_x. Фирма Caterpillar на газовых двигателях серии G3500 внедрила некоторые технологии программы ARES, в частности, горение обедненной смеси с рециркуляцией ОГ и трехкомпонентным катализатором при использовании высокоэффективного турбонагнетателя типа HEAT. Фирма Waukesha модернизирует газовые двигатели серии VGF. В настоящее время фирма производит двигатель APG 16V150LTD, оснащенный компонентами технологии ARES: турбокомпрессорами ABB, системой контроля и управления составом и количеством обедненной смеси, процессом зажигания, диагностики детонации. КПД энергоустановки составляет 42,7 % при частоте 50 Гц и 41 % при частоте 60 Гц. На выпускаемых фирмой Waukesha газовых двигателях серий ATGL, VHP и др. используются головки цилиндров с упрочненными твердым сплавом клапанами газораспределения и их седлами, применено принудительное жидкостное охлаждение втулок и седел выпускных клапанов. Фирмой декларируется ресурс до ремонта головок 40 тыс. ч [20].

В СССР в 1950–1970 гг. прошлого века на базе исследовательских работ ВНИИГАЗ (г. Москва) и ЦНИДИ (г. Ленинград) были созданы и производились моторостроительными заводами газовые двигатели для электроагрегатов мощностью от 4–16 кВт (двигатели 1ГЧ-8,5/11 и 4ГЧ-8,5/11) до 1100–3700 кВт (двигатели 11ГД100, 64ГА и др.) [18, 21]. Фундаментальные теоретические и экспериментальные работы Б.С. Стечкина, К.И. Генкина, А.Н. Воинова и других ученых в области рабочих процессов двигателей [10–14, 18, 21] содержат ряд выводов и положений, актуальных и при разработке современных газопоршневых двигателей.

В современной России разработки газопоршневых двигателей на базе транспортных и стационарных дизелей ведутся, в основном, моторостроительными заводами – производителями этих двигателей: ЯМЗ (г. Ярославль), ВДМ (г. Балаково), Барнаултрансмаш и др., а также небольшими предприятиями: ООО АРЗ "Синтур-НТ" (г. Нижний Тагил), ООО "МГТ" (г. Москва) и др.). Общество с ограниченной ответственностью ООО "ЦНИДИ" (г. Санкт-Петербург), ОАО "НАТИ", МАДИ (ГТУ) (г. Москва) на протяжении ряда лет вели работы по созданию, исследованиям и доводке газовых двигателей на базе дизелей автотракторного типа. Было освоено единичное производство газовых двигателей ЯМЗ и КАМАЗ и электроагрегатов на их основе. Ниже представлены некоторые результаты опубликованных работ, которые могут быть использованы при создании газового двигателя, применяющего в качестве топлива низкокалорийный газ.

На кафедре "Теплотехника и автотракторные двигатели" МАДИ (ГТУ) выполнен комплекс работ по созданию и доводке транспортного газового двигателя, созданного на базе автотракторного дизеля. Рабочий процесс характеризуется использованием обедненной газовоздушной смеси в целях снижения выбросов NO_x. Результаты представлены в таблице [18, 22]. Значение максимального крутящего момента у газового двигателя получено меньше, чем у базового дизеля (на 13,8 %). Максимум момента к тому же достигается на более высоких частотах вращения. На частоте вращения $n = 1000$ мин$^{-1}$ значение максимального крутящего момента газового двигателя ниже на 32 % по отношению к максимальному значению крутящего момента базового дизеля. Причинами меньшего запаса крутящего момента газового двигателя являются:

– невозможность изменения в широких пределах коэффициента избытка воздуха;

– меньшие значения индикаторного КПД, в основном вследствие меньшей степени сжатия;

– меньшие значения коэффициента наполнения двигателя воздухом вследствие применения в газовом двигателе внешнего смесеобразования и достаточно большого значения парциального объема газового топлива.

Параметры газового двигателя и базового дизеля

Режим	Тип двигателя	Рабочая частота вращения, n, мин$^{-1}$	Максимальный крутящий момент, M, Н·м	Мощность, N_e, кВт	Эффективный КПД, η_e	Коэффициент наполнения, η_v	Коэффициент избытка воздуха, α	Расход воздуха, $G_в$, кг/ч	$P_к$, бар	$P_т$, бар
Минимальная рабочая частота вращения	Д	1000	932	98	0,393	–	–	–	–	–
	Г	1000	730	76	0,362	0,862	1,37	362	1,21	1,17
Максимальный крутящий момент	Д	1400	1079	158	0,417	–	1,86	870	–	–
	Г	1600	930	156	0,358	0,899	1,46	793	1,69	1,88
Номинальная мощность	Д	2200	834	192	0,366	–	2,41	1550	–	–
	Г	2200	838	193	0,331	0,903	1,56	1140	1,79	2,27

*"–" данные отсутствуют, Д – дизель, Г – газовый двигатель.

Сделан вывод о том, что для газового двигателя с наддувом, работающего при коэффициенте избытка воздуха α = 1,4–1,6 (что равносильно использованию низкокалорийного газа), с выходными характеристиками, максимально приближенными к характеристикам базового дизеля, требуется увеличить массовое наполнение цилиндров. Для этого необходимо поднять давление наддува за счет применения турбокомпрессоров с меньшими минимальными проходными сечениями канала подвода ОГ к турбине турбокомпрессора. Отмечено значительное снижение концентрации оксидов азота, что связано с увеличением избытка воздуха. Однако при этом высоки концентрации монооксида углерода CO и, особенно, несгоревших углеводородов CH_x. Сравнительно высокие концентрации CO в ОГ не представляют серьезной опасности, так как окисление CO в нейтрализаторах происходит достаточно полно. Основной проблемой является выполнение норм по выбросам суммарных несгоревших углеводородов. Окисление метана, который в основном и входит в состав несгоревших углеводородов газового двигателя, в случае бедных смесей в присутствии значительного количества водяного пара является весьма проблематичным. Поэтому была проведена работа по подбору окислительных нейтрализаторов.

Испытания показали, что нейтрализатор с платино-палладиевым катализатором (*Pt*/*Pd*-катализатором) при работе с коэффициентом избытка воздуха α = 1,42–1,46 (на режиме с n = 1000 мин$^{-1}$), обеспечивает снижение концентрации монооксида углерода CO в 4,9–5,5 раза, а концентрации несгоревших углеводородов CH_x – лишь на 12,0–12,5 % при средней температуре ОГ в нейтрализаторе 425–465 °C. В связи с этим была разработана система нейтрализации, которая, помимо основного нейтрализатора, содержит небольшой по объему преднейтрализатор, установленный между выпускным коллектором и турбокомпрессором [18, 22].

Конструкторско-исследовательские работы по созданию газодизельного двигателя на базе дизеля ЯМЗ-238 (для электроагрегата ГГЭУ-100), его доводке и адаптации для использования генераторного газа выполнены в ООО "ЦНИДИ" (г. Санкт-Петербург). Двигатель оснащен оригинальной адаптивной (самонастраивающейся) системой регулирования подачи газового топлива и нагрузки. При этом сохраняется возможность ра-

боты по дизельному циклу. Во время работы двигателя под нагрузкой в случае снижения количества подаваемого газа по внешним причинам или изменения состава газа (уменьшения его теплотворной способности) система поддерживает заданный скоростной режим работы добавлением необходимого количества дизельного топлива. Несмотря на инерционность газового тракта, благодаря принятой системе регулирования приемистость газодизеля соответствует приемистости дизеля. Применительно к энергоустановкам разработаны ТУ 311690-002-73425807-2006, проведены сертификационные испытания установок на древесном топливе на соответствие ТУ и национальным стандартам [23, 24]. С учетом опыта длительной эксплуатации агрегатов ГГЭУ-100 в ООО "ЦНИДИ" создана также и более мощная газогенераторная электростанция ГГЭС-300 [25].

Исследовательские работы ОАО "НАТИ" касаются в основном разработок принципов и подходов к конвертации для работы на газе автотракторных дизелей ЯМЗ и ММЗ и дизельных электроагрегатов на их базе, в том числе с учетом возможности использования в качестве моторного топлива нефтяных попутных газов с низким содержанием метана. При конвертации применялись комплектующие российского производства (системы зажигания и газоподачи); в процессе доводки электроагрегатов учитывались реальные условия эксплуатации у потребителей. Для работы на различных видах газа в ОАО "НАТИ" переоборудовано несколько десятков автотракторных дизелей, которые впоследствии успешно эксплуатировались в составе электроагрегатов и транспортных машин [26–29].

Практически все современные зарубежные и отечественные газопоршневые двигатели мощностью до 300–500 кВт комплектуются системами газоподачи, искрового зажигания и регулирования, которые серийно производятся специализированными предприятиями и фирмами. В настоящее время российские производители газовых двигателей используют названные выше системы фирм:

– АО "Инкар" (г. Пермь); ООО "ЭПО Сигнал" (г. Саратов); СП "Термобрест" ООО (г. Брест, Белоруссия); фирмы Dungs, Kromschroder, RMG (Германия) – газовое оборудование;

– ООО ППП "Дизельавтоматика" (г. Саратов); фирмы GAC, Woodward (США); Heinzmann (Германия) – электронные компоненты систем контроля, регулирования и управления двигателей и электроагрегатов;

– ООО "Фирма Астро" (г. Пенза); фирмы Motortech GmbH (Германия); Altronic (США) – системы зажигания.

Следует отметить, что российские производители газовых двигателей применяют, как правило, относительно недорогие свечи зажигания автомобильного типа (например, свечи типов Bosch Y6C, NGK PKR7A и др.).

Заключение

Ведущие зарубежные производители газовых двигателей имеют в своей номенклатуре продукции модели, использующие низкокалорийные (в том числе и генераторный) газы. Немногочисленные отечественные организации (в основном, моторостроительные заводы и небольшие частные предприятия), выпускающие в настоящее время конвертированные из дизелей транспортного типа газовые двигатели, также предусматривают использование низкокалорийного газового топлива. Ведутся исследовательские работы по совершенствованию конструкции и улучшению показателей газовых двигателей.

В существующих конструкциях газовых двигателей адаптация к применению низкокалорийного газа заключается в основном в увеличении давления наддува (применение более производительного турбокомпрессора); использовании специального газосмесителя (для конкретного состава газа); использовании систем электронного регулирования состава смеси, давления наддува, частоты вращения двигателя, параметров системы зажигания (для динамичной и точной адаптации электроагрегата к нагрузке и составу газа). Все производители газовых двигателей внедряют мероприятия по увеличению ресурса наиболее ответственных узлов, деталей и двигателя в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Александров А.А., Архаров И.А., Марков В.А. и др.** Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. 791 с.

2. **Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М.** Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ "Инженер", 2016. 292 с.

3. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.

4. **Александров А.А., Архаров И.А., Марков В.А. и др.** Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения / Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2014. 691 с.

5. **Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Бабаш С.Е.** Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия, 1987. 240 с.

6. **Марков В.А., Чирков А.Ю., Зайченко В.М., Цыплаков А.И., Директор Л.Б.** Использование генераторного газа из биомассы в газопоршневых энергоустановках // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. 2017. Том 16. № 10. С. 452–463.

7. **Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М.** Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ "Инженер", 2016. 292 с.

8. **Алексеев В.П., Воронин В.Ф., Грехов Л.В. и др.** Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.

9. **Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др.** Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.

10. **Стечкин Б.С., Генкин К.И., Золотаревский И.В., Скородинский И.В.** Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 199 с.

11. **Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др.** Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для вузов / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.

12. **Генкин К.И.** Газовые двигатели. М.: Машиностроение, 1977. 196 с.

13. **Воинов А.Н.** Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. М.: Машиностроение, 1977. 277 с.

14. **Стечкин Б.С.** Теория тепловых двигателей: Избранные труды. М.: Наука, 1977. 410 с.

15. **ГОСТ 13822–82.** Электроагрегаты и передвижные электростанции дизельные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1982. 22 с.

16. **Caterpillar.** Руководство по выбору, монтажу и эксплуатации LRKO7256. Двигатели серии G3600 – G3300. Раздел "Топливные системы".

17. **Трегуб Е.** Европейский опыт утилизации сбросного энергопотенциала промышленных газов. ttp://www.cogeneration.com.ua/ru/analytics/special-gas/hidrogen-utilization/.

18. **Цыплаков А.И.** Газопоршневые энергоустановки на генераторном газе: особенности конструкции, опыт эксплуатации, результаты экспериментальных исследований. Препринт ОИВТ РАН № 3-512. М.: Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, 2013. 51 с.

19. **Программа** ARES – завершен первый этап. http://www.turbinist.ru/main/news/analytics/106-programma-ares-zavershen-pervyj-yetap.html.

20. **Газопоршневые** двигатели и генераторные установки "Вокеша". http://www.energoteh.com/equipment/gen/Waukesha/.

21. **Коллеров Л.К.** Газомоторные установки. М.: Машгиз, 1951. 239 с.

22. **Шишлов И.Г.** Обоснование методов конвертации дизелей без наддува и с наддувом на питание природным газом с обеспечением норм по токсичности: Дис.: к. т. н.: 05.04.02 – тепловые двигатели. М.: МАДИ (ГТУ), 2009. 220 с.

23. **Копытов В.В.** Газификация конденсированных топлив. Ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. М.: Инфра-Инженерия, 2012. 509 с.

24. **Ильчевский К.К.** Актуальность перехода отдаленных дизельных электростанций республики Саха (Якутия) на местное топливо на примере газогенераторных установок, работающих на древесном топливе. Международная научно-практическая конференция "Малая энергетика 2008". htpp://www.combienergy.ru/ stat980pl/html.

25. **Первая** в республике ГГЭС-300 дала ток! // Информационное агенство "SakhaLife". http://sakhalife.ru/node/55620.

26. **Лупачев П.Д., Филимонов А.И., Цыплаков А.И.** Переоборудование дизельных и коммунальных машин в газовые // Строительные и дорожные машины. 1994. № 9. С. 43–45.

27. **Лупачев П.Д., Филимонов А.И.** Применение газопоршневых электроагрегатов для локального энергоснабжения нефтегазопромыслов // Нефтяное хозяйство. 2003. № 12. С. 76–78.

28. **Лупачев П.Д.** Газовые двигатели для тракторов и стационарных установок // Тракторы и сельхозмашины. 1996. № 1. С. 8–10.

29. **Лупачев П.Д.** Опыт длительной эксплуатации газопоршневых электроагрегатов // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. 2005. № 6. С. 32–33.

УДК 621.435.001

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ НЕМЕТАНОВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ АВТОБУСНЫМ ГАЗОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ТИПА КАМАЗ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н.Н. Патрахальцев, д-р техн. наук, РУДН; **Ш.Р. Лотфуллин,** генеральный директор ООО "Био Интер"; **И.К. Шаталов,** канд. техн. наук; **Ю.А. Антипов,** канд. техн. наук, РУДН, г. Москва

Приводятся результаты расчетно-экспериментального исследования возможностей снижения среднеэксплуатационных выбросов суммарных и неметановых углеводородов газовым двигателем типа КАМАЗ, регулируемым отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок, т.е. изменением его активного рабочего объема. Выбросы суммарных углеводородов газовым двигателем могут превышать аналогичный показатель "жидкотопливных" ДВС. Однако выбросы более вредных неметановых углеводородов у него меньше. Регулированием двигателя отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок эти выбросы могут быть дополнительно снижены на ~ 20–30 %.

Ключевые слова: *газовый двигатель; альтернативное топливо; природный газ; эксплуатационная топливная экономичность; снижение токсичности; малые нагрузки; отключение цилиндров; изменение активного рабочего объема двигателя.*

DIMINUTION OF CONTENTS OF NON-METHANE HYDROCARBONS OF GAS-ENGINE OF TYPE KAMAZ OF CITY BUS IN EXPLOITATION

Patrakhaltsev N.N., Dr. of technical sciences, RUDN; **Lotfullin Sh.R.,** LLC Bio Inter; **Shatalov I.K.,** Ph. D. of technical sciences; **Antipov Yu.A.,** Ph. D. of technical sciences, RUDN, Moscow

There presented some results of rated-experimental investigation of opportunities to diminish of exhaust emission of total and non-methane hydrocarbons during exploitation of gas-engine. This may be achieved by some cylinders disconnection during low loads regimes. There showed, that gas-engine may have more total hydrocarbons in exhaust gases, than liquid-fuelled engine, but less of non-methane hydrocarbons. This quantity may be reduced for 20–30 % by regulation of active displacement of engine.

Keywords: *gas-engine; alternative fuels; natural gas; economy; ecology qualities during exploitation; low loads; disconnection of cylinders; engine with variable displacement.*

Повышение экономических и экологических качеств автомобильного транспорта во все времена остается актуальной проблемой. Ее решение в значительной степени определяется возможностью использования в ДВС различных альтернативных топлив и, прежде всего, природного газа (ПГ) [1]. Это связано, например, с тем, что разведанных запасов ПГ должно хватить более чем на 70 лет, в отличие от запасов жидких топлив. Известно, что большинство стран имеют отлаженные сети транспортировки газа. Природный газ позволяет с наименьшими затратами труда и средств достичь высоких экологических требований, предъявляемых к автомобильному транспорту. Перевод на питание природным газом рационален как для бензиновых, так и для дизельных двигателей по выбросам сажи, канцерогенному бенз(α)пирену и оксидам азота. Однако при этом отмечается повышенный выброс монооксида углерода и несгоревших углеводородов, особенно на режимах малых нагрузок (МН) и холостых ходов (ХХ). А доля таких режимов особенно велика в условиях эксплуатации городских автобусов.

Известная проблема загруженности транспортных артерий, особенно в условиях мегаполисов, приводящая к росту режимов МН и ХХ двигателей, сопровождается повышенными расходами топлив и загрязнением окружающей среды вредными составляющими отработавших газов двигателей. Эта же проблема связана с тенденцией повышения динамических качеств двигателей и автомобилей, т.е. с использованием двигателей, все более форсированных по мощности.

Для улучшения среднеэксплуатационных показателей работы ДВС может применяться метод регулирования двигателя отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок. Этот метод и соответствующие средства сравнительно широко реально применяются в автомобильных бензиновых двигателях, в тепловозных дизелях, но реже – в автотракторных дизелях [2]. Применение его на газовых двигателях изучено в меньшей степени.

Отключение части цилиндров на режимах МН, сопровождающееся повышением нагрузки на цилиндры, оставшиеся в работе, т.е. активные цилиндры, приводит к повышению удельной экономичности, снижению удельных выбросов большинства токсичных компонентов и т.д., о чем свидетельствует протекание нагрузочных характеристик двигателя. Для предварительной оценки (экспресс-оценки) возможностей повышения экономичности и экологичности работы двигателя в условиях эксплуатации путем отключения части цилиндров может быть применена расчетно-экспериментальная методика (математическая модель) [3], основанная на использовании экспериментально полученных универсальных (многопараметровых) характеристик двигателей. На таких характеристиках в координатах нагрузки (например, крутящего момента M_e, среднего эффективного

давления p_e) и частоты вращения (n) нанесены параметрические кривые постоянных удельных расходов топлива (g_e), постоянных удельных выбросов оксидов углерода (g_{CO}), оксидов азота (g_{NO_x}) и углеводородов (g_{THC} и g_{NMHC}, т.е. суммарных (Total Hydrocarbons) и неметановых (Non-Methane Hydrocarbons)). Анализ эффективности метода регулирования двигателя отключением части цилиндров при работе на заданных режимах МН проводится путем сравнения показателей полноразмерного (ПР) двигателя и двигателя с отключаемыми цилиндрами (ОЦ). При этих сравнениях развиваемые двигателями (ПР и с ОЦ) крутящий момент (M_e), мощность (N_e) и выполняемая двигателем полная работа ($L_{полн}$) на данном режиме МН сохраняются неизменными. Следовательно, воспользоваться этими параметрами как регулируемыми при ОЦ нельзя. Воспользоваться для сравнения показателями среднего эффективного давления (p_e) цилиндра или, соответственно, двигателя, также нельзя, так как они меняются на том же режиме МН в разных цилиндрах и не имеют физического смысла для всего двигателя с ОЦ, у которого при неизменности конструктивного параметра – рабочего объема – меняется активный рабочий объем, т.е. сумма рабочих объемов не выключенных цилиндров. По существу, для двигателя с ОЦ активный рабочий объем превращается в регулируемый параметр. В этих условиях целесообразно воспользоваться показателями удельной работы ($L_{уд}$), выполняемой двигателем полноразмерным или с отключением цилиндров. Для полноразмерного (ПР) двигателя выполняемая им удельная работа составляет

$$L_{уд}^{ПР} = L_{полн} / (iV_h) \text{ Дж / дм}^3, \quad (1)$$

где iV_h – конструктивный показатель двигателя – его рабочий объем при общем числе цилиндров i и рабочем объеме одного цилиндра V_h.

Для двигателя с ОЦ при выполнении той же полной работы удельная работа составит

$$L_{уд}^{ОЦ} = L_{полн} / (zV_h) \text{ Дж / дм}^3, \quad (2)$$

где z – число активных, не выключенных, цилиндров двигателя, а величина zV_h – активный рабочий объем двигателя с ОЦ.

Таким образом, регулирование двигателя отключением цилиндров представляет собой регулирование (изменение) активного рабочего объема двигателя и, следовательно, изменение удельной работы, выполняемой двигателем с ОЦ.

При известности M_e полная работа, выполняемая полноразмерным двигателем (а следовательно, и двигателем с ОЦ на этом же режиме) равна

$$L_{полн} = 2\pi M_e \text{ Дж}. \quad (3)$$

Удельные работы составят соответственно:

$$L_{уд}^{ПР} = 2\pi M_e / (iV_h) \text{ Дж / дм}^3, \quad (4)$$

$$L_{уд}^{ОЦ} = 2\pi M_e / (zV_h) \text{ Дж / дм}^3. \quad (5)$$

Для того, чтобы воспользоваться универсальной характеристикой исследуемого двигателя, необходимо ординату M_e заменить ординатой $L_{уд}$, как это показано на рис. 1, где приведена экспериментальная универсальная характеристика по показателям удельных выбросов суммарных углеводородов (Total Hydrocarbons – THC) газового двигателя КАМАЗ с моноподачей газа Econtrols [4].

На рис. 1 точкой А обозначен, для примера, режим малой нагрузки (M_e = ~250 Н·м при частоте 1090 мин$^{-1}$, т.е. около 18 % от уровня ВСХ, полноразмерного двигателя, а точкой Б – тот же скоростной и нагрузочный режим, но уже при отключении четырех цилиндров двигателя из восьми.

Для автомобильных двигателей, работающих на ПГ, считается целесообразным введение двух норм на выбросы углеводородов: суммарных углеводородов (THC) и неметановых углеводородов (NMHC) [5]. Ограничение по NMHC должно быть более жестким, более строгим. А по метану – более мягким. Это объясняется тем, что парниковая активность метана, по сравнению с другими углеводородами, невелика. Метан относительно инертен в атмосфере и не рассматривается как серьезное загрязнение. Кроме того, метан эффективно дожигается в существующих нейтрализаторах. Гораздо более опасны неметановые углеводороды, окисляющиеся в атмосферных условиях. Общее количество NMHC определяется вычитанием количества метана из суммарного количества углеводородов в отработавших газах.

Удельные выбросы суммарных углеводородов (рис. 1) распределены по основным скоростным и нагрузочным режимам двигателя сравнительно равномерно. Заметное увеличение удельных выбросов THC в ОГ отмечается лишь при малых нагрузках, особенно при низких частотах вращения. Это связано, очевидно, с проблемой организации рабочего процесса газового двигателя на этих режимах из-за слишком малых и, следовательно, трудно регулируемых цикловых подачах топлива

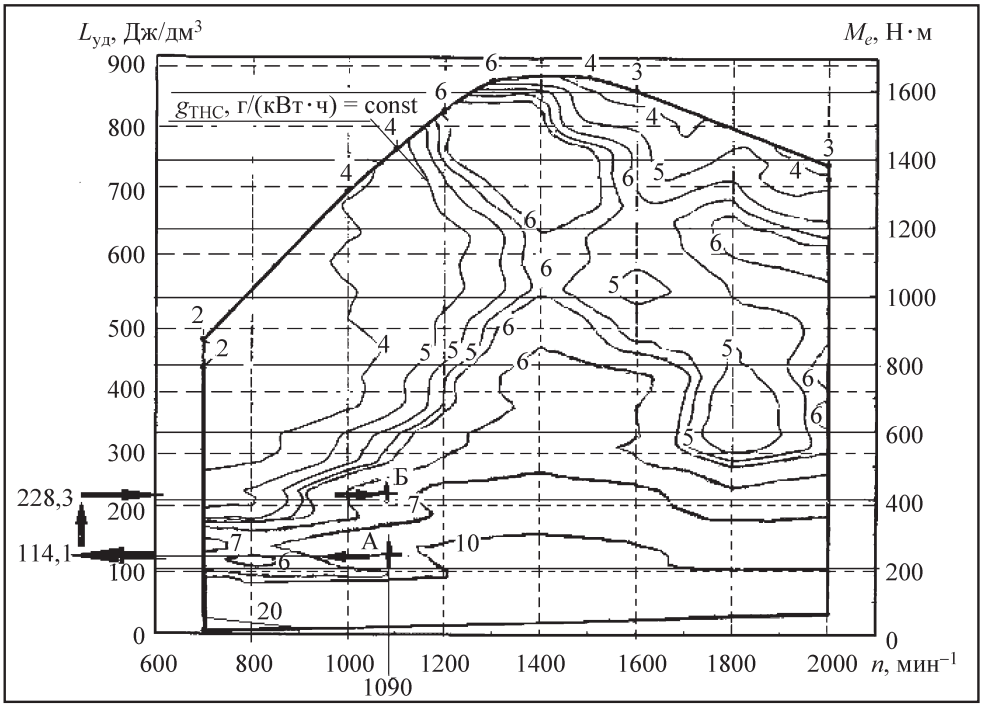


Рис. 1. *Универсальная характеристика газового двигателя КАМАЗ по показателям удельных выбросов суммарных углеводородов (g_{THC}) [4], снабженная ординатой удельной работы двигателя ($L_{уд}$):*
шкала с ординатой M_e применима для полноразмерного двигателя, а шкала с ординатой $L_{уд}$ – для обоих вариантов двигателей, т.е. как полноразмерного, так и для регулируемого отключением цилиндров

и воздуха при сохранении необходимого уровня коэффициента избытка воздуха. В области минимальной частоты вращения и нагрузке, близкой к холостому ходу, нарушается процесс смесеобразования – сгорания, появляются пропуски воспламенения, что приводит к существенному выбросу несгоревшего газа. Аналогичные выводы можно сделать и относительно распределения выбросов неметановых углеводородов по режимам работы двигателя (рис. 2) [4].

С использованием указанной математической модели проведены численные эксперименты по оценке выбросов суммарных (THC) и неметановых (NMHC) углеводородов газового двигателя КАМАЗ при реализации двигателем эксплуатационного ездового цикла городского автобуса. Распределение режимов работы газового двигателя КАМАЗ городского автобуса в условиях интенсивного городского движения показано на рис. 3 [6]. Здесь $\overline{M_e}$ – относительное значение крутящего момента при данной частоте вращения вала (и, соответственно, мощности $N_{e.отн}$). Весь диапазон возможных режимов работы двигателя автобуса разбит на 58 зон по нагрузке и частоте вращения. Доля времени работы в каждой из этих зон приведена в относительных значениях от всего времени реализации цикла работы, принятого за 100 %. То есть, например, при минимальных частотах вращения вала и минимальных нагрузках (практически холостых ходов) время работы достигает 32,2 % от всего времени эксплуатации при реализации рассматриваемого режима. Время работы двигателя на номинальном режиме составляет лишь 1,2 %.

Итак, зная величины $L_{уд}$, по универсальным характеристикам рис. 1 и 2 определяем значения g_{THC} и g_{NMHC} для каждого режима. Результаты расчетов приведены в таблице, которая, по существу, представляет собой алгоритм реализации математической модели. В таблице показаны примеры результатов расчетов для первых десяти и последних пяти ступеней (всего 58 режимных точек) эксплуатационного цикла городского автобуса.

Проведенный ранее [7] численный эксперимент с применением указанной методики показал, что средний за цикл удельный расход топлива (приведенный к дизельному) полноразмерным двигателем при реализации эксплуатационного цикла городского автобуса составил $g_{e.ср.ц}$ = = 0,277 кг/(кВт·ч). Здесь:

$$g_{e.ср.ц} = \frac{\sum_{j=1}^{58}(G_{тj}K_j)}{\sum_{j=1}^{58}(N_{ej}K_j)}, \text{ кг / (кВт ·ч)}, \qquad (6)$$

где $G_{тj}$ и N_{ej} – часовой расход топлива и мощность в j-й ступени цикла; K_j – весовой фактор, т.е. доля режима данной ступени во всем времени эксплуатационного цикла.

 ISSN 2073-8323

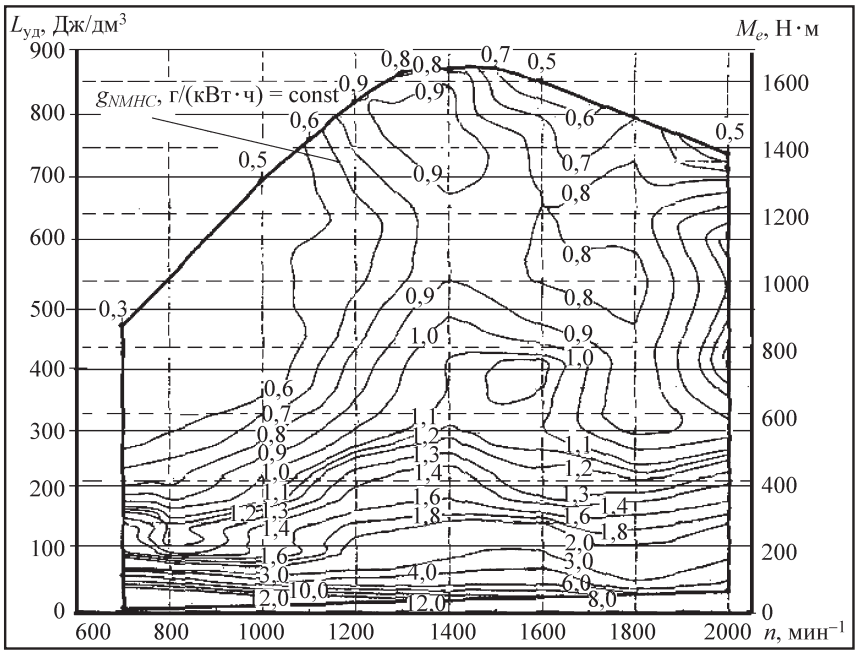


Рис. 2. *Универсальная характеристика газового двигателя КАМАЗ по показателям удельных выбросов неметановых углеводородов (g_{NMHC}) [4], снабженная ординатой удельной работы двигателя ($L_{уд}$)*

При регулировании двигателя на режимах МН отключением четырех цилиндров (т.е. при регулировании по алгоритму z = 4–8) получено, что расход $g'_{e.ср.ц}$ составил 0,234 кг/(кВт·ч). При применении алгоритма z = var, (т.е. отключением разного числа цилиндров, в зависимости от текущей нагрузки) расход составил $g''_{e.ср.ц}$ = 0,215 кг/(кВт·ч). То есть экономия топлива составляла соответственно около 15 и 22 % от расхода полноразмерного двигателя. При этом выбросы СО уменьшились соответственно на 28 и 34 %.

Зная $L^{ПР}_{j.уд}$ и n_j определяем значения $g_{j.NMHC}$ и $g_{j.THC}$ (г/(кВт·ч)) по универсальным характеристикам соответственно рис. 1 и 2. Тогда часовые

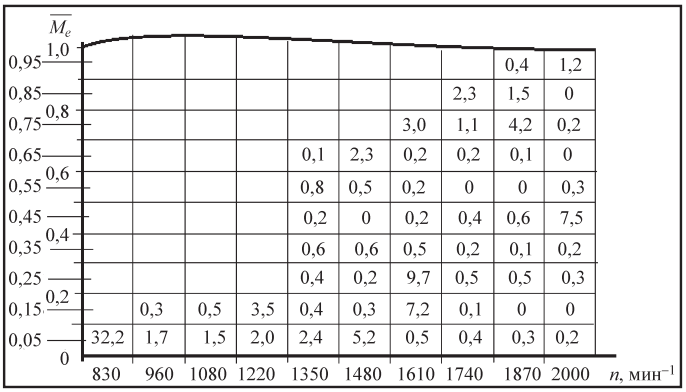


Рис. 3. *Распределение режимов работы газового двигателя КАМАЗ городского автобуса в условиях интенсивного городского движения [5]: $\overline{M_e}$ относительное значение крутящего момента*

выбросы углеводородов определяются соотношениями $G_{j.MNHC} = g_{j.NMHC}N_{ej}K_j$ и $G_{j.THC} = g_{j.THC}N_{ej}K_j$.

Применяя алгоритм регулирования двигателя на режимах малых нагрузок отключением четырех цилиндров (алг. z = 4–8), по значениям удельных работ $L'_{j.уд}$ и n_j аналогичным образом с помощью характеристик рис. 1 и 2 определяем удельные и часовые выбросы углеводородов $g''_{j.NMHC}$, $G''_{j.NMHC}$ и т.д.

Другим принципиально возможным алгоритмом регулирования является отключение разного числа цилиндров, зависящего от текущей нагрузки, т.е. алг. z = var. Аналогично приведенному выше определяются выбросы углеводородов $g'_{j.NMHC}$, $G'_{j.NMHC}$ и т.д.

Средняя за цикл мощность двигателя при реализации ездового цикла городского автобуса составляет $\sum_{j=1}^{58} N_{ej}K_j$ = 67,3 кВт. При этом средний момент составляет $\sum_{j=1}^{58} M_{ej}K_j$ = 384 Н·м. То есть коэффициент загрузки двигателя по мощности K_{N_e} = = 67,3/288 = 0,234. А коэффициент загрузки по крутящему моменту K_{M_e} = 384/1375 = 0,279.

Таким образом, результаты анализа выбросов углеводородов можно представить в виде графиков рис. 4 и 5. Изменения удельных выбросов при отключении части цилиндров определяются соотношением $\Delta g_{THCср.ц}$ = $((g_{THCПРср.ц} - g'_{THCср.ц}) / g_{THCПРср.ц})\cdot 100$ %.

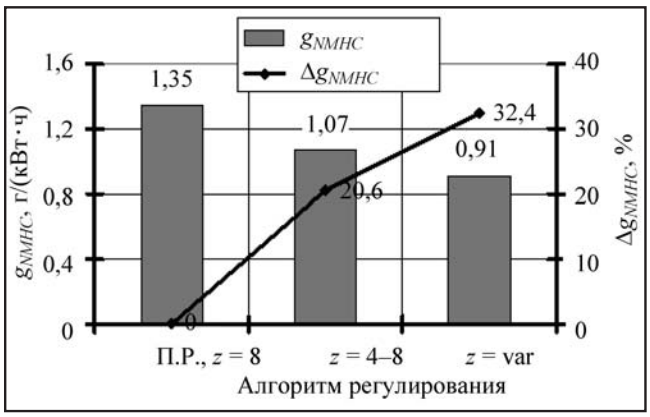


Рис. 4. *Влияние алгоритма регулирования газового двигателя КАМАЗ (при реализации ездового цикла городского автобуса) на удельные (g_{NMHC}) выбросы неметановых углеводородов (NMHC) и на выигрыши в выбросах (Δg_{NMHC}), благодаря изменению удельной работы двигателя (отключению цилиндров: z = 8 – работа двигателя полноразмерного (на всех цилиндрах), z = 4–8 – работа двигателя с отключением четырех цилиндров на режимах малых нагрузок, z = var – работа двигателя с отключением разного числа цилиндров, в зависимости от уровня нагрузки)*

Показано, что отключением четырех цилиндров на режимах малых нагрузок ездового цикла городского автобуса можно при уменьшении расхода топлива на величину до 15,7 % достигнуть снижения удельных выбросов *THC*, *NMHC* соответственно на 22,9 и 20,6 %. Применение алгоритма регулирования z = var может обеспечить повышение топливной экономичности до 22,3 % и достигнуть снижения удельных выбросов *THC*, *NMHC* соответственно на 32,5 и 32,4 %.

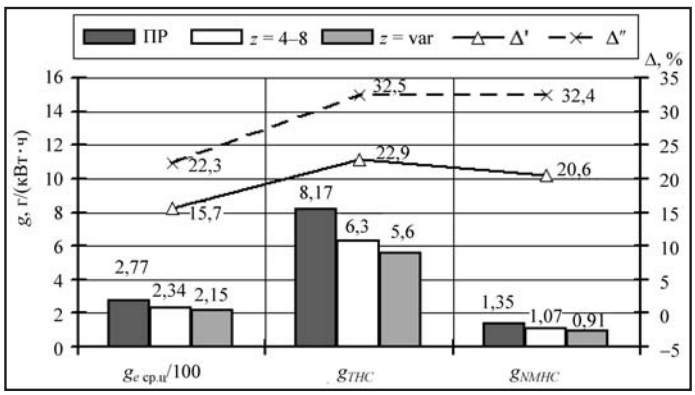


Рис. 5. *Удельные расходы топлива ($g'_{e.ср.ц}$) и выбросы углеводородов, средние при реализации типичного ездового цикла городского автобуса, а также изменения показателей, относительно полноразмерного двигателя (ПР), при отключении четырех цилиндров (Δ') (алгоритм z = 4–8) или изменяемого числа отключаемых цилиндров в зависимости от уровня текущей нагрузки (Δ") (алгоритм z = var)*

Изложенная выше математическая модель применима при справедливости допущения, что абсолютные значения механических потерь в двигателях, как ПР, так и с ОЦ ($M_м$, $N_м$, $L_м$, $p_м$), не зависят от нагрузки, от числа активных цилиндров, а зависят только от частоты вращения вала двигателя, которая при проводимых сравнениях не изменяется. В реальных условиях эксплуатации могут существовать различные ограничения на реализацию метода отключения цилиндров [3, 7]. Метод оценки g_e и т.д. по универсальной характеристике подразумевает мгновенное отключение цилиндров без учета следующих возможных ограничений:

– необходимости сглаживания возникающих неравномерностей частоты вращения и вибраций двигателя и автомобиля;

– задержки в стабилизации теплового состояния;

– эффект экономии топлива снижается с ростом частоты вращения вала, а частоту (например, на ХХ) при отключении цилиндров приходится повышать, чтобы сохранить частоту следования повышенных крутящих моментов от активных цилиндров.

Тогда идеальные расчетные результаты могут быть снижены на 30–50 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСИЙ СПИСОК

1. **Патрахальцев Н.Н.** Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив. М.: Изд-во РУДН. 2008. 267 с.

2. **Балабин В.Н.** Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров. Монография. М.: ГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте". 2007. 143 с.

3. **Патрахальцев Н.Н., Петруня И.А., Камышников Р.О., Савастенко Э.А.** Оценка возможности повышения экономичности автомобиля регулированием рабочего объёма двигателя // Автомобильная промышленность, 2014, № 6. С. 10–12.

4. **Селиванов С.В.** Газовые двигатели с системой питания "Econtrols". Презентация. КАМАЗ-центр. 2015. 36 с.

5. **Кульчицкий А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для высшей школы. 2-е изд., испр. и доп. Академический Проект. 2004. 400 с.

6. **Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В.** Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизелях. М.: ООО "ИРЦ ГАЗПРОМ". 2007. 480 с.

7. **Патрахальцев Н.Н., Виноградов Л.В., Лотфуллин Ш.Р.** Повышение экономичности газового двигателя КАМАЗ отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок // Транспорт на альтернативном топливе. 2017. № 1 (55). С. 31–35.

УДК: 541.128

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА В АЦЕТАЛЬДЕГИД

С.П. Беденко, В.Ф. Третьяков, д-р хим. наук, Московский технологический университет, институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова; **Р.М. Талышинский,** д-р хим. наук, Институт нефтехимического синтеза РАН им. А.В. Топчиева, г. Москва

Проанализированы термодинамические вероятности реакционных путей превращения диметилового эфира в этанол, ацетальдегид, этилен и этиленоксид. Приведен обзор катализаторов превращения ДМЭ и его молекулярного аналога этанола в ацетальдегид. Показаны возникающие при подборе катализаторов основные кинетические проблемы.

Ключевые слова: *термодинамика; кинетика; катализ; диметиловый эфир; этанол; ацетальдегид; этилен; медь; медьсодержащие катализаторы.*

THEORETICAL ANALYSIS OF TRANSFORMATION DIMETHYL ETHER IN ACETALDEHYDE

Bedenko S.P., Tretyakov V.F., Dr. of chem. sciences, Moscow Technological University, Institute of Fine Chemical Technologies. M.V. Lomonosov Moscow State University; **R.M. Talyshinsky,** Dr. of chem. sciences, Institute of Petrochemical Synthesis RAS. A.V. Topchiyeva, Moscow

The thermodynamic probabilities of the reaction routes for the conversion of dimethyl ether to ethanol, acetaldehyde, ethylene and ethylene oxide are analyzed. A review is given of the catalysts for the conversion of DME and its molecular analogue of ethanol to acetaldehyde. The main kinetic problems that arise during the selection of catalysts are shown.

Keywords: *thermodynamics; kinetics; catalysis; dimethyl ether; ethanol; acetaldehyde; ethylene; copper; copper-containing catalysts.*

В настоящее время превращения диметилового эфира (ДМЭ) вызывают большой интерес у множества исследователей. Это соединение может найти применение как в качестве моторного топлива [1], так и в качестве сырья для ряда ценных химических продуктов [2]. Целый ряд работ посвящен превращениям ДМЭ в олефины [3–7], существуют работы по карбонилированию эфира в метилацетат [8] с дальнейшим превращением его в этанол [9–11]. Кроме того, возможно гидроформилирование диметилового эфира в ацетальдегид [12]. Однако отсутствуют публикации исследований прямого превращении ДМЭ в ацетальдегид.

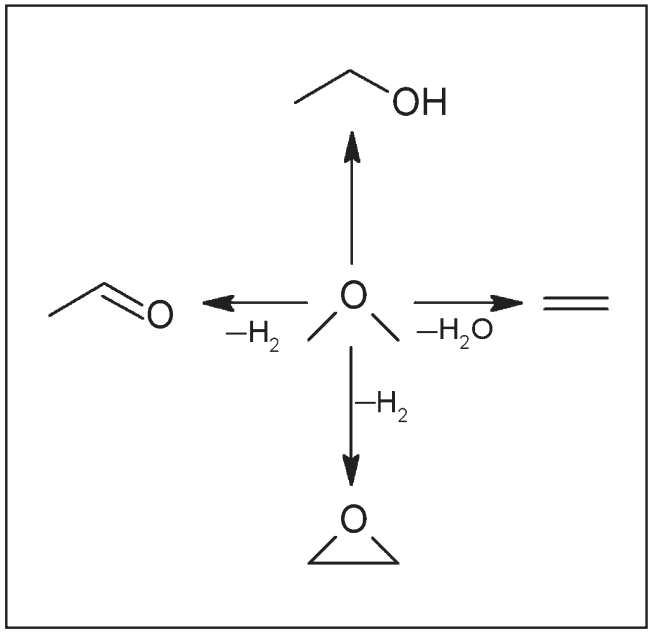


Рис. 1. *Схема рассматриваемых химических превращений диметилового эфира*

Ацетальдегид – важный для химической промышленности полупродукт: согласно [13], до 95 % получаемого альдегида расходуется на производство уксусной кислоты, уксусного ангидрида, винилацетата, н-бутиральдегида, этилацетата, пиридинов, пентаэритрита, н-бутанола и 2-этилгексанола. Также ацетальдегид является промежуточным звеном превращения этанола в 1,3-бутадиен и может применяться для его получения по методу Остромысленского [14]. На 2012 г. в мире ежегодно использовали около 1,26 млн т ацетальдегида [15].

Знание термодинамических вероятностей протекания реакций (рис. 1) позволят углубиться в понимание природы превращения ДМЭ, а знание механизма его превращения позволит осознанно подойти к кинетическому управлению реакциями получения ацетальдегида путем подбора соответ-

Термодинамические константы исследуемых веществ

Константы	ДМЭ	Этанол	АА*	Этилен	ЭО**	Вода	Водород
$\Delta_r H^{o}_{298}$, ккал/моль	–43,99	–56,07	–39,8	12,54	–12,6	–57,80	0
$\Delta_r S^{o}_{298}$, кал/моль·К	63,7	67,5	63,01	52,41	58,06	16,75	31,20

АА* – ацетальдегид, ЭО** – этиленоксид.

ствующих катализаторов и условий проведения процесса.

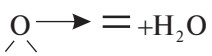
Таким образом на первом этапе перед нами стояла задача определения вероятности протекания описаных выше реакций. Проведенные расчеты были основаны на термохимических данных, взятых из базы данных МГУ [16] и проведены по первому приближению, считая $\Delta_r H^{\circ}_{\mathrm{T}} = \Delta_r H^{\circ}_{298}$ и $\Delta_r S^{\circ}_{\mathrm{T}} = \Delta_r S^{\circ}_{298}$.

Термодинамический анализ

1) Изомеризация диметилового эфира в этанол

Согласно расчетам (рис. 2), реакция изомеризации ДМЭ в этанол термодинамически разрешена в температурном диапазоне от 300 до 1000 К. Это позволяет нам предполагать возможность протекания данной реакции без вовлечения в нее синтез-газа.

2) Дегидратация диметилового эфира в этилен

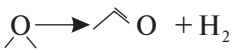


Расчеты изменения энергии Гиббса для реакции дегидратации ДМЭ показывают, что в температурном диапазоне от 300 до 1000 К реакция термодинамически разрешена, равновесие смещено в сторону образования продуктов, что подтверждается массой проведенных по данной тематике исследований.

3) Дегидрирование диметилового эфира в этиленоксид

Реакция дегидрирования ДМЭ в этиленоксид, в отличие от описанных выше реакций, термодинамически вероятна при температурах выше 1230 К (рис. 4), что затрудняет ее реализацию.

4) Дегидрирование диметилового эфира в ацетальдегид



Согласно расчетам (рис. 5), реакция дегидрирования ДМЭ в ацетальдегид термодинамически разрешена.

Проведенный термодинамический анализ позволяет сделать выводы о возможности протекания реакции изомеризации ДМЭ в этанол, реакции де-

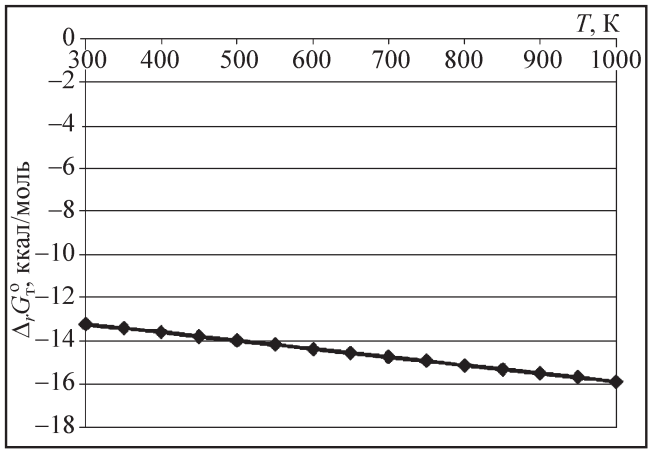


Рис. 2. *Зависимость изменения энергии Гиббса в реакции изомеризации ДМЭ в этанол от температуры*

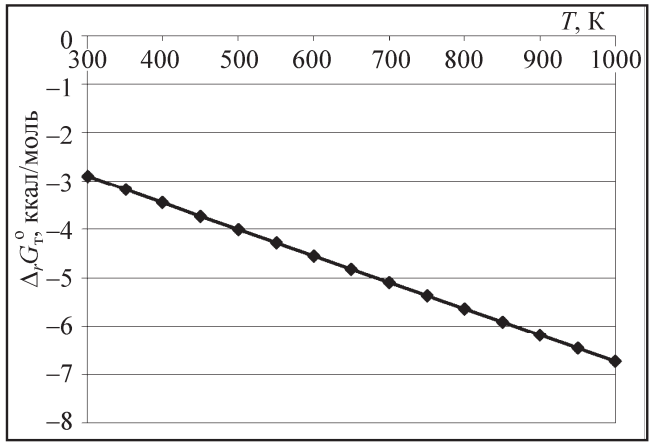


Рис. 3. *Зависимость изменения энергии Гиббса в реакции дегидратации ДМЭ в этилен от температуры*

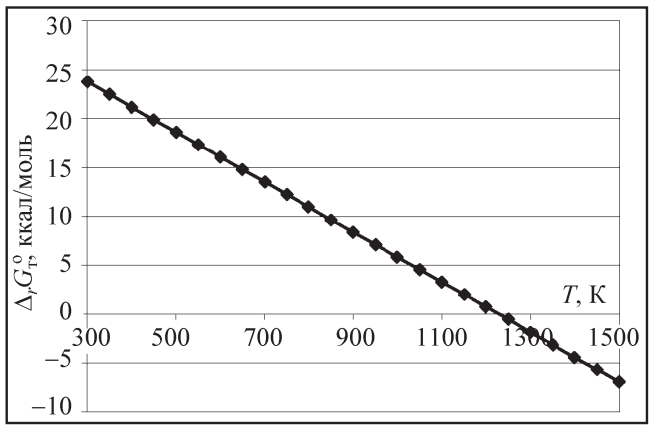


Рис. 4. *Зависимость изменения энергии Гиббса в реакции дегидрирования ДМЭ в этиленоксид от температуры*

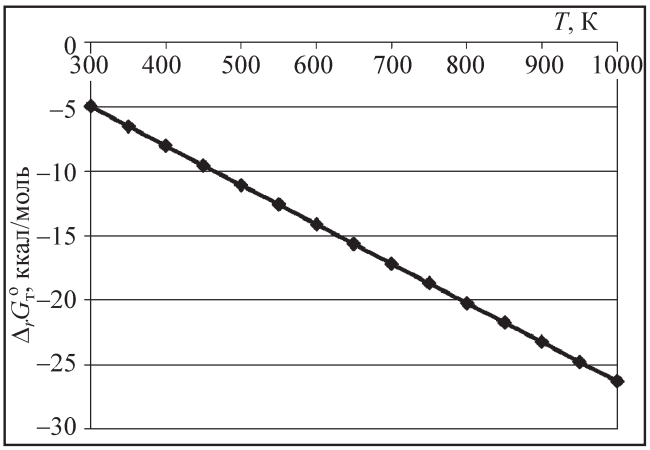


Рис. 5. *Зависимость изменения энергии Гиббса в реакции дегидрирования ДМЭ в ацетальдегид от температуры*

гидратации ДМЭ в этилен и дегидрирования ДМЭ в ацетальдегид. Таким образом, для дальнейшего изучения данной проблемы необходим подбор катализатора и условий протекания данных реакций. Образование ацетальдегида в данном случае возможно через стадию изомеризации ДМЭ в этанол, с его последующим дегидрированием, или непосредственно в одну стадию, с отщеплением атома водорода и изменением углеродного скелета.

Анализ возможных катализаторов

Прямое образование этанола из диметилового эфира отмечено в [3]. В работе изучались модифицированные соединениями родия цеолитные катализаторы. При проведении реакции на катализаторе 0,1 %Rh/HZSM-5/Al_2O_3 при 240 °C 8,2 % масс. от состава продуктов составлял этанол. Согласно [17], образование этанола возможно из поверхностного кетена, образующегося на бренстедовских кислотных центрах, принадлежащих цеолиту. Кроме того, существует ряд работ [8–11], в которых этанол получается в результате последовательного карбонилирования ДМЭ в метилацетат с дальнейшим гидрированием в этанол и метанол соответственно.

Реакции изомеризации углеводородов протекают на кислотных катализаторах – Al_2O_3, SiO_2, алюмосиликатах, $AlCl_3$, HCl, H_2SO_4 [18,19]. Данные катализаторы способствуют изомеризации углеродного скелета, переносу двойной связи в ненасыщенных соединениях. Возможно, данные катализаторы будут способствовать переносу метильного заместителя от атома кислорода к атому углерода в структуре ДМЭ.

Для дегидрирования этилового спирта в ацетальдегид чаще всего применяют медные катализаторы [20–31]. Это связано с высокой активностью медьсодержащих катализаторов в реакциях дегидрирования, а также высокой селективностью в отношении образования карбонильных соединений в ходе данных реакций. Главным недостатком медных катализаторов является быстрая потеря активности. Для увеличения срока эксплуатации катализатора в его состав соединения Cr [20], V, Zn, Zr [21,22], Al [23]. Это позволяет увеличить срок эксплуатации катализатора, а также увеличить дисперсность активного компонента по поверхности. Однако введение перечисленных промоторов снижает активность катализатора. Ряд авторов [24–32] предлагают для увеличения срока эксплуатации применять нанесенные медные катализаторы. В качестве наиболее перспективных носителей можно выделить SiO_2, сибунит и активированные углеродные волокна (ACF). К минусам SiO_2 можно отнести меньший по сравнению с медьуглеродными катализаторами выход целевого продукта, однако данные катализаторы являются более стабильными в ходе проведения реакции.

Таким образом, при изучении процесса, направленного на превращение ДМЭ в ацетальдегид, целесообразно провести ряд экспериментов в присутствии катализаторов Cu/SiO_2, Cu /углеродные материалы, Cu/HZSM-5.

Выводы

Проведен термодинамический анализ системы, установлена возможность протекания реакции изомеризации диметилового эфира в этанол и дегидратации диметилового эфира в ацетальдегид. Проведен анализ возможных катализаторов превращения ДМЭ в ацетальдегид. Сформулированы ключевые рецептуры для приготовления катализаторов превращения ДМЭ исходя из литературных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Розовский А.Я.** Экологически чистые моторные топлива на базе природного газа // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 701–712.

2. **Чанышев Р.Р., Вильданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н. и др.** Диметиловый эфир – альтернативный вид нефтегазохимического сырья и топлива // Башкирский химический журнал. 2014. № 4 (21). С. 20–26.

3. **Kolesnichenko N.V., Goryainova T.I., Biryukova E.N. et al.** Synthesis of lower olefins from dimethyl ether in the presence

of zeolite catalysts modified with rhodium compounds // Petroleum Chemistry. 2011. Vol. 51. P. 55–60.

4. **Родионов А.С., Широбокова Г.Н., Бондаренко Г.Н., Павлюк Ю.В., Колесниченко Н.В., Батова Т.И., Хиврич Е.Н., Хаджиев С.Н.** Исследование превращения диметилового эфира на цеолитных катализаторах HZSM-5/Al_2O_3 методом высокотемпературной ИК-Фурье спектроскопии диффузного отражения in situ // Нефтехимия. 2013. № 53. С. 357–363.

5. **Колесниченко Н.В., Яшина О.В., Маркова Н.А., Бирюкова Е.Н., Горяинова Т.И., Кулумбегов Р.В., Хаджиев С.Н., Китаев Л.Е., Ющенко В.В.** Конверсия диметилового эфира в олефины C_2–C_4 на цеолитных катализаторах // Нефтехимия. 2009. Т. 49, № 1. С. 45–49.

6. **Бирюкова Е.Н., Горяинова Т.И., Кулумбегов Р.В., Колесниченко Н.В., Хаджиев С.Н.** Конверсия диметилового эфира в низшие олефины на цеолитном катализаторе La–Zr–HZSM-5/Al_2O_3 // Нефтехимия. 2011. Т. 51, № 1. С. 50–55.

7. **Хаджиев С.Н., Магомедова М.В., Пересыпкина Е.Г.** Механизм реакции синтеза олефинов из метанола и диметилового эфира на цеолитных катализаторах (обзор) // Нефтехимия. 2014. № 54. С. 243–269.

8. **Cheung P., Bhan A., Sunley G.J.** Selective carbonylation of dimethyl ether to methyl acetate catalyzed by acidic zeolites // Angew. Chem. Int. Ed. 2006. Vol. 45. P. 1617–1620.

9. **San X., Zhang Y., Shen W., et al.** New synthesis method of ethanol from dimethyl ether with a synergic effect between the zeolite catalyst and metallic catalyst // Energy&Fuels. 2009. № 23. P. 2843–2844.

10. **Li X., San X., Zhang Y., et. al.** Direct synthesis of ethanol from dimethyl ether and syngas over combined h-mordenite and Cu/ZnO catalysts // ChemSusChem. 2010. № 3. P. 1192–1199.

11. **Wang Y., Liao J., Zhang J.** Hydrogenation of methyl acetate to ethanol by Cu/ZnO catalyst encapsulated in SBA-15 // AIChE Journal. 2017. Vol. 63. P. 2839–2849.

12. **Patent** US Preparation of acetaldehyde / Porcelli R.V. № 4302611; заявл. 16.09.1980; опубл. 24.11.1981. 6 с.

13. **Тимофеев В.С., Серафимов Л.А., Тимошенко А.В.** Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Высшая школа, 2010. 408 с.

14. **Платэ Н.А., Сливинский Е.В.** Основы химии и технологии мономеров. М.: Наука: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2002. 715 с.

15. **Грабченко М.В.** Разработка Ag-содержащего катализатора для получения ацетальдегида из этилового спирта // X Международная конференция студентов и молодых ученых "Перспективы развития фундаментальных наук". Томск, 2013. С. 993–995.

16. **База** данных Термические Константы Веществ [Электронный ресурс]. URL:http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html (Дата обращения 05.12.2017).

17. **Hutchings G.J., Hunter R., Johnston P. et al.** Methanol convertion to hydrocarbons over zeolite H–ZSM-5; investigation of role of CO and ketene in the formation of the initial C–C bond // Journal of Catalysis. 1993. Vol. 142. P. 602–616.

18. **Pines H.** The chemistry of catalytic hydrocarbon conversions. London: Academic press, 1981. 304 p.

19. **Агабеков В.Е., Сеньков Г.М.** Каталитическая изомеризация легких парафиновых углеводородов // Катализ в химической и нефтехимической промышленности. 2006. № 5. С. 31–41.

20. **Tu Y.-J., Li C., Chen Y.-W.** Effect of chromium promoter on copper catalysts in ethanol dehydrogenation // J. Chem. Tech. Biotechnol. 1994. № 59. P. 141–147.

21. **Kanoun N., Astier M.P., Pajonk G.M.** New vanadium-copper-zinc catalysts, their characterization and use in the catalytic dehydrogenation of ethanol // Appl. Catal. 1991. Vol. 70, Issue 1. P. 225–236.

22. **Kanoun N., Astier M.P., Pajonk G.M.** Selective dehydrogenation of ethanol over Cu catalysts containing Zr or V and Zr // Reaction Kinetics and Catalysis Letters. 1991. Vol. 44. P. 51–56.

23. **Kanoun N., Astier M.P., Pajonk G.M.** Dehydrogenation of ethanol and CO_2–H_2 conversion on new copper cited Cu/Cr-Al catalysts // J. of Mol. Catal. 1993. Vol. 79. P. 217–228.

24. **Tu Y.-J. and Chen Y.-W.** Effects of alkaline-earth oxide additives on silica-supported copper catalysts in ethanol dehydrogenation // Ind. Eng. Chem. Res. 1998. № 37. P. 2618–2622.

25. **Iwasa N., Takezawa N.** Reforming of Ethanol – Dehydrogenation to ethyl acetate and steam reforming to acetic acid over copper-based catalyst // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1991. № 64. P. 2619–2623.

26. **Santacesaria E., Carotenuto G., Tesser R., Di Serio M.** Ethanol dehydrogenation to ethyl acetate by using copper and copper chromite catalysts // Chemical Engineering Journal. 2012. № 179. P. 209–220.

27. **Marcelo J.L., Iglesia G., Iglesia E.** Bifunctional condensation reactions of alcohols on basic oxides modified by copper and potassium // Jornal Of Catalysis. 1998. Vol. 176. P. 155–172.

28. **Wang Q.-N., Shi L., Lu A.-H.** Highly selective copper catalyst supported on mesoporous carbon for the dehydrogenation of ethanol to acetaldehyde // ChemCatChem. 2015. Vol. 7. P. 2846–2852.

29. **Нугманов Е.Р.** Синтез ацетальдегида каталитическим дегидрированием этилового спирта: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МИТХТ, 2005. 200 с.

30. **Бокарев Д.А.** Получение метилформиата и ацетальдегида дегидрированием низших алифатических спиртов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. М.: МИТХТ, 2015. 134 с.

31. **Пономарева Е.А.** Получение ацетальдегида дегидрированием этанола на медьуглеродных нанесенных катализаторах: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МИТХТ, 2016. 135 с.

УДК 656.13.08

ИНФОРМАЦИОННО-ИНФРАСТРУКТУРНАЯ ПОДДЕРЖКА ДОРОЖНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.А. Грушников, канд. техн. наук, ВИНИТИ РАН, г. Москва

Повышение безопасности дорожного движения продолжает оставаться серьезной проблемой, решение которой возможно только при максимальной совместной реализации потенциала комплекса административных мер наказания за совершенные правонарушения, самоконтроля водителей и электронных цифровых бортовых систем колесных транспортных средств и дорожно-транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: *безопасность дорожного движения; транспортная инфраструктура; информационные технологии; когнитивность; электронные системы безопасности.*

INFORMATION AND INFRASTRUCTURE SUPPORT FOR ROAD SAFETY

Grushnikov V.A., Ph.D. of technical sciences, VINITI of RAN, Moscow

Improving road safety continues to be a serious problem, the solution of which is possible only with maximum joint implementation of the potential of a complex of administrative penalties for committed offenses, driver self-control and electronic digital on-board wheeled vehicle systems and road transport infrastructure.

Keywords: *road safety; transport infrastructure; information technology; cognition; electronic security systems.*

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с участием колесных транспортных средств (КТС) и пешеходов продолжают оставаться серьезным бичом человечества, ежегодно во всех странах с разным уровнем экономического развития, уносящим большое количество жизней и причиняющим огромный материальный ущерб. Их предотвращение или хотя бы снижение вероятности и тяжести последствий при необходимости обязательного неотвратимого наказания за нарушения правил дорожного движения возможно только при повышении точности и оперативности выполнения маневров на автомобильных дорогах. До массового внедрения беспилотных КТС эта цель достижима на соединении повышенных реализаций когнитивных способностей водителей и возможностей электронных систем по предотвращению дорожной аварийности. Водители КТС без или с минимальным набором электронных устройств их поддержки для обеспечения безопасного прохождения, главным образом, криволинейных участков траектории движения должны четко контролировать дорожно-транспортную ситуацию, чтобы не

Типичное ДТП в Нью-Йорке

только не вылететь с проезжей части в кювет, потеряв сцепление шин с дорожным полотном, но и оставаться на своей полосе. При наличии в автомобилях электронных устройств системы активной безопасности именно им вменяется в обязанность выполнение этих функций средствами автоматического превентивного электронного торможения и автономного подруливания для исправления непреднамеренного дрейфа с полосы или проезжей части дорожного полотна. Когнитивные способности человека за рулем по нейронной оценке данной ему в ощущениях проявлений объективной реальности и психофизической реакции на нее ограничены 0,5 с (в стрессовых и других затруднительных ситуациях – 2–3 с). Электронные системы с быстродействием реакции на полтора-два порядка меньшим нуждаются в адекватном алгоритме управление. Поэтому только соединение их возможностей до массового появления на дорогах общего пользования является наиболее действенным и эффективным способом решения проблемы безопасности дорожного движения.

Для выяснения границ когнитивных возможностей человека-водителя за рулем автомобиля и возможностей и оперативности срабатывания электронных компонентов интеллектуальной системы активной безопасности могут быть использованы результаты фактических наблюдений. Так, американскими исследователями проблемы безопасности дорожного движения и конструктивного совершенства КТС проведена [1] количественная оценка частоты потери водителями автомобилей полосы движения с попаданием в кювет при сносе передних колес и вылете на полосу встречного дви-

Управление автомобилем в состоянии алкогольного опьянения стопроцентно ведет к ДТП

жения при заносе задних колес. Эти сведения получены из протоколов официальной статистики ДТП национальной Администрации безопасности дорожного движения. Репрезентативная выборка из 259 034 ДТП в США в 2005–2007 гг. состоит из 5470 протоколов, зафиксировавших травмирование водителей и пассажиров КТС из-за вылета с проезжей части автострады. Из около 5,5 тыс. таких случаев потери управляемости 34 % водителей потеряли контроль из-за утомленности и их, практически, утраченная когнитивность не позволила бы восстановить контроль над движущимся автомобилем, даже после его восстановления электронной системой активной безопасности. Еще 13 % водителей попавших в аварию автомобилей были больны, имели концентрацию алкоголя в крови не менее 0,08 % или другую причину невозможности контролирования управления КТС. Эту информацию рекомендуется использовать разработчикам интеллектуальных электронных систем активной безопасности, оптимизация функционирования которых обеспечивает автономный боковой контроль сноса и заноса.

При углубленном анализе пространственно-временных аспектов ДТП и автокатастроф в Нью-Йорке явно просматриваются [2] различия между ними с участием одного и нескольких КТС. Разработанные для этого модели случайных параметров учитывают время суток, гетерогенный вес и другие внутренние, связанные с водителем, и внешние факторы воздействия окружающей среды, а также параметры транспортных потоков. Обобщенная пространственно-временная модель упорядоченного пробита позволила использовать общедоступные данные Информационных баз Smart Location Data и BEST Practices по статистике ДТП в 2008–2012 гг. Результаты их обработки показали наличие существенной разницы между факторами, определяющими тяжесть последствий одиночных и групповых столкновений КТС. Эта гетерогенность существует и по полной массе грузовых автомобилей и автопоездов. Кроме того, отдельные ДТП с участием грузовиков, как оказалось, являются пространственно-зависимыми событиями как для одиночных, так и для групповых столкновений. И последнее, но не менее важное: значительное время суток ДТП являются редким событием, тогда как во второй их половине учащаются в одиночном варианте, а ночью – в групповом.

Полученная информация является концентрированным выражением взаимосвязанности и взаимозависимости факторов транспортного процесса на дорожной сети с инфраструктурной поддержкой в виде объективной реальности. Она дана человеку за рулем в ощущениях, которые он должен и может с разной степенью правильности и оперативности субъективно оценивать и использовать в меру своих когнитивных возможностей.

Они очень ярко проявляются [3] в реакции водителей автомобилей на пешеходных переходах. Предупреждение о потенциальном фронтальном столкновении вообще и наезде на пешехода в частности является тенденцией стратегии совершенствования систем активной безопасности КТС и пассивной безопасности для пешехода. И наибольшую эффективность эти меры предотвращения смертности и травматизма на дорогах общего пользования приобретают при совместном действии. Эффективным оказывается синергетическое объединение возможностей человека за рулем с концентрацией когнитивных способностей на отслеживании дорожно-транспортной ситуации, быстродействующей и бесстрастной электроники и человека на проезжей части – пешехода, нуждающегося в защите. Она успешно реализуется устройствами в виде отклоняющихся бамперов и поднимающихся подпружиненных капотов, предписанными требованиями Глобальными техническими правилами "Защита пешеходов". Но без рассмотренного взаимодействия и внимательности водителей избежать столкновений и наездов и/или смягчить их последствия все равно не удается. В связи с этим сотрудниками европейского подразделения корпорации Toyota и компании Autoliv на имитационных математических моделях проведены виртуальный эксперимент и лабораторные

испытания в Швеции. В них оценены не только эффективность защиты пешеходов при наезде КТС с этими прогрессивными устройствами и электронными системами управления, но и реакция водителя при активации системы безопасности при этом конфликте. Они позволили дать качественную оценку когнитивных возможностей человека за рулем автомобиля и количественно определить время реакции на начало и эффективность торможения с протокольной регистрацией этих действий. Кроме того, в этом исследовании представлен подробный набор характеристик сложной человеко-машинной системы, необходимый для разработки и совершенствования как самих комплексных систем безопасности, так и методов оценки их эффективности при исследованиях и испытаниях. Они получены по результатам имитационных – на тренажерах и натурных – на лабораторных стендах испытаний поведения отвлеченных опросами и боковыми зрительными сигналами водителей, "движущихся" по городу со скоростью 30 км/ч. Скорости столкновений и время реакции на торможение существенно различались в экспериментах. Сигнальные предупреждения электронного ассистента водителя о необходимости торможения приводили к снижению его начала с 0,8 до 0,29 с и числа столкновений, а 90 % водителей превысили максимально допустимое замедление в 3,6 м/с^2 и его интенсивность в 5,3 м/с^3. Автомобилестроителям рекомендуется использовать в своих конструкциях устройства предупреждения о тормозных импульсах в системах безопасности. Методика оценки автомобилей на фронтальное столкновение Euro NCAP может ввести оценку преимущества системы обеспечения безопасности пешеходов при наезде на них.

Как видно из этой объективной оценки, трудно уже отделить возможности электронных систем поддержки водителя КТС от когнитивных способностей человека, в том числе и в первую очередь – за рулем, но все же анализ возможностей человека очень важен. Их диапазон велик и с возрастом он изменяется отнюдь не в лучшую сторону. И это надо учитывать, что и делают автомобилестроители и транспортники. В калифорнийском университете (США) проведено сравнительное кросс-секционное исследование быстроты реакции и оперативности выполнения маневров 38 водителями в возрасте 18–40 лет и 60 лет и старше с последующим воспроизведением их действий на тренажере STISIM Drive M100. По его результатам зафиксированы [4] точность отслеживания ими полосы движения, стандартное отклонение от него, средняя скорость, стандартное отклонение от нее, задержка на перекрестках, время на обдумывание предстоящего маневра, столкновения с другими КТС и наезды на пешеходов. По сравнению с более молодыми возрастные водители медленнее реагировали на изменение дорожно-транспортной ситуации (510 мс против 372,4), с вероятностью 0,18–0,39 (молодые – с нулевой) попадали в ДТП со столкновениями, двигались медленнее (71,7 км/ч против 88,35) и были в меньшей степени способны поддерживать постоянную дистанцию в транспортном потоке. Эти результаты являются первыми, в которых сравниваются эти специфические показатели возрастных групп водителей. Идентификация этих различий имеет важное значение для предотвращения ДТП.

Эту же цель преследовали [5] исследователи возрастных отличий в причинах фатальных столкновений на перекрестках автомагистралей и дорог США. По результатам проведенного аналитического исследования поведения на дорогах общего пользования стареющего населения вообще и водителей в частности США ими сделана попытка понять и оценить тенденцию совершения ДТП с возрастными водителями КТС и их влияние на причины и тяжесть последствий. Статистика ДТП с фатальными исходами в них в 50 штатах, округе Колумбия и Пуэрто-Рико, зарегистрированными в базе данных Национальной администрацией безопасности дорожного движения США, позволила по многофакторной модели логистической регрессии с распределением Пуассона оценить возрастные и гендерные различия в причинах фатальных перекрестных столкновений. В зарегист-

28 % виновников ДТП – водители в возрасте 85 лет...

... затем следуют молодые – около 20 лет

рированных 120 809 ДТП со смертельными исходами в столкновениях на дорогах США в 2011–2014 гг. с участием 178 489 водителей КТС 48 733 (28 %) были их виновниками. Лидерство среди них принадлежит водителям в возрасте 85 лет и старше, затем следуют молодые – около 20 лет, далее – старше 55 лет. Результаты этого исследования свидетельствуют о том, что возрастные водители сталкиваются с рядом проблем, связанных с естественным старением, включая сенсорное, перцептивное, когнитивное и моторное снижение реактивной моторики, которое может повлиять на их вождение. Как и в случае с более молодыми водителями, расширенные или обновленные подходы к обучению водителей при продлении лицензий, а также технологические достижения, основанные на безопасности, являются жизнеспособными средствами для улучшения перспектив безопасности дорожного движения с участием пожилых людей за рулем автомобиля.

Но возраст не является абсолютной парадигмой опасного поведения водителя. В этом убедились [6] исследователи рискованного поведения молодых водителей КТС на автомобильных дорогах Австралии, Новой Зеландии и Колумбии. Проведенный ими анализ продемонстрировал серьезную зависимость дорожно-транспортного травматизма и частости ДТП с участием начинающих и уже имеющих прочные навыки молодых водителей от уровня дохода и образования, но главным образом – от их темперамента. Молодые водители в Колумбии сообщили о более рискованном вождении, чем молодые водители в Новой Зеландии, и значительно более рискованном вождении, чем молодые водители в Австралии. Были обнаружены значительные различия (до 23,5 %) по дорожной смертности и травматизму между странами и их отдельными регионами с разным уровнем экономического развития. Но самой частой причиной столкновений в ДТП стало использование мобильного телефона, за ним – управление КТС в состоянии алкогольного опьянения. Несмотря на различия в культурных традициях и программах лицензирования, молодые водители этих стран проявляют одинаковую раскованность в плане рискованного поведения за рулем моторного транспортного средства.

Такой в целом интегральный при рассмотрении КТС единым целым с управляемым им водителем, но дифференцированным при оценке способностей человека за рулем позволяет прогнозировать события на дороге в целях предотвращения столкновений в ДТП. Достижению этой цели способствует использование тренажеров в процессе обучения и переподготовки водителей КТС. Применение в их программном обеспечении роботизированной векторной системы прогнозирования по их поведенческим намерениям последующих действий позволило [7] сотрудникам электронного колледжа университета китайского Чанчуня по регистрации оперативности воздействия на педаль акселератора разработать алгоритм оценки уровня мастерства управления КТС и идентификации намерений водителя.

Их понимание позволяет прогнозировать возможные развития событий на автомобильной дороге, но далеко не всегда – предусмотреть опасности нарушения правил дорожного движения, которые являются [8] одним из основных факторов совершения ДТП с тяжелыми травмами и смертельными исходами в США и во всем мире. Улучшить эту печальную статистику, по мнению со-

Активный светофор

трудников факультета гражданской и экологической инженерии Университета шт. Северная Каролина, можно на основе количественной оценки риска, который водители нарушениями всеми понятных узаконенных действий создают для себя и других водителей в транспортных потоках. Для их наглядности проанализированы и проклассифицированы столкновения на ее автострадах и улицах городов в 2010–2013 гг. По этой статистической выборке разработана многофакторная логистическая регрессионная модель связи между различными нарушениями правил дорожного движения и степенью травмирования водителя-нарушителя и других в потоке КТС. Установлено, что превышение установленного ограничения скорости является наиболее частой причиной серьезных травм, даже по сравнению с проездом на запрещающий сигнал светофора самого нарушителя. А для водителей других автомобилей он наиболее опасен. Управление КТС в состоянии алкогольного опьянения в два раза более вероятно приведет к тяжелой травме, чем вождение под воздействием наркотиков. Водители зачастую уверены, что их нарушение правил дорожного движения не приведет к столкновению и серьезной травме. Однако результаты этого исследования свидетельствуют об ошибочности этого мнения и показывают, что большинство нарушений правил дорожного движения приводит к серьезным травмам нарушителя, а также других водителей. Результаты этого исследования служат документально подтвержденными доказательствами необходимости информирования водителей о том, какой риск они представляют для себя и для других водителей, нарушая правила дорожного движения и поощрения способов безопасного поведения на дорогах общего пользования. Они также помогают вносить изменения в политику штрафования нарушителей правил дорожного движения.

Но сама возможность прогнозирования рискованного вождения КТС с повестки дня не снимается, поскольку очень важна в плане предотвращения столкновений в ДТП. При проведении [9] углубленного исследования факторов отвлечения внимания водителя КТС от дорожно-транспортной ситуации, в том числе при пользовании мобильным телефоном, чреватого рисками совершения спонтанных маневров и столкновений, установлена вероятность руминации – когнитивного процесса опасного выхода из процесса управления подвижным составом. Из 653 приглашенных к участию в опросе и эксперименте студентов Юго-Восточного университета абсолютное большинство подтвердило версию о связи самооценки с рискованным поведением за рулем КТС водителя в состоянии раздражения и гнева. Однако никаких различий в действиях водителя по половому признаку обнаружено не было. Оказалось, что мужчины и женщины в равной степени склонны сообщать об опасном поведении во время вождения, вызванном гневом.

А вот поведение водителя КТС в состоянии алкогольного опьянения прогнозировать хотя и сложно, но в определенной степени можно. Но лучше этих ситуаций не допускать и с пьяным водителем в одном транспортном потоке не находиться. Тем не менее в совместном исследовании сотрудников Института здоровья и Колледжа комплекса наук о здоровье Университета Гриффита (Австралия) оценена [10] эффективность использования так называемых фатальных очков. Они имитируют при тренажерном вождении КТС поведение водителя в состоянии алкогольного опьянения для выявления возможностей человека за рулем в экстремальных условиях. В эксперименте с участием 22 здоровых мужчин в возрасте 23,3 лет аналитически контролировались допустимая доза алкоголя в крови водителя КТС и надежность способов ее обнаружения. В трех разных сценариях различной сложности продолжительностью реализации около 5 мин каждый со сменой полосы движения и разгонно-тормозной динамикой определены субъективные оценки настроения и отношения к выполнению маневров. В каждом из них зарегистрированы до 50–100 % замедленных и ошибочных реакций водителей на изменение дорожно-транспортной ситуации.

Действенными мерами по снижению количества и тяжести последствий ДТП по всем мире признаны мероприятия по разделению встречных полос движения и предотвращение столкновений КТС при совершении наиболее сложного по реализации левого поворота на нерегулируемых и регулируемых перекрестках. По данным официальной статистики девять из десяти столкновений связаны именно с этим маневром и его различные сценарии уже рассматриваются как варианты испытаний автомобилей на пассивную безопасность (по методике Euro NCAP к 2020 г.). Для предотвращения столкновений при совершении левого поворота эффективную роль уже играют и будут играть системы автоматизированного экстренного торможения. Они оценивают возмож-

Шведская компания Avtoliv уделяет большое внимание безопасности дорожного движения

ности водителя избежать потенциального столкновения путем торможения или использования рулевого управления. И в виртуальных экспериментах на имитационных математических моделях с вариацией продольных и поперечных перемещений в режимах попеременного разгона-торможения зафиксирована [11] действенность автоматического вмешательства этой системы превентивного торможения для предотвращения столкновений и выявлены характеристики реагирования на опасность ситуации. Эталонное моделирование показало потенциал инновационной системы, позволяющей избежать более половины столкновений на поворотах (на прямолинейной траектории движения – около 100 %). На криволинейной траектории ее эффективность ограничена доступностью пространственной информации об использовании системы рулевого управления. Такая информация может быть предоставлена датчиками и устройствами дорожно-транспортной инфраструктуры, обнаруживающими свободное пространство на дороге вокруг активного автомобиля. Однако эффективность рассматриваемой системы автоматизированного экстренного превентивного торможения ограничена скоростями движения до 40 км/ч на поворотах и 60 км/ч – на прямолинейных траекториях.

Конечно же, невозможно переоценить и роль интеллектуальной дорожно-транспортной инфраструктуры, позволяющей активно реагировать на изменение плотности и интенсивности транспортных потоков регулированием пропускной способности и реверсированием полос движения. Результаты проведенных [12] имитационных и экспериментальных исследований эффективности системы автоматического интеллектуального управления сигналами светофора на регулируемом перекрестке позволили установить возможность до 10 % снизить количество столкновений в ДТП.

Примерно таким же эффективным оказалось [13] использование мобильной сигнализации об опасностях столкновений в ДТП в разных вариантах с применением оптимизированных возможностей оповещения по мобильным телефонам, смартфонам, планшетам и другим электронным гаджетам. Оптимизация системы оповещения об опасности на автомобильных дорогах достигается [14] в режиме реального времени и использованием наземных, воздушных и космических средств слежения за перемещением КТС. А использование в системах активной безопасности КТС программного обеспечения OpenCV с отсеиванием фильтром Калмана фоновых сигналов позволило [15] установить 96%-ю абсолютную возможность предотвращения столкновений подвижного состава с оповещением об опасности за 22 мс до этого потенциального события.

Предоставляемые современными электронными системами поддержки водителя возможности сосредоточения и/или привлечения его внимания при ослаблении контроля за дорожно-транспортной ситуацией при утомлении, например, и при повышенной опасности и/или рискованности его манеры вождения также позволяют снизить риски столкновений в ДТП. Это подтвердили результаты исследований, проведенных [16] в Техническом университете Мюнхена (Германия) и Делфтском технологическом университете (Нидерланды). Установлена эффективность предупреждающих вибротактильных стимуляторов внимания водителей КТС. Это позволило разработать рекомендации по использованию его результатов в алгоритмах функционирования электронных систем активной безопасности и даже для совершенствования систем автоматического управления беспилотным подвижным составом. Проанализированы правильность реакций на внешние возмущения, их скорости, оперативности реакции, ориентации глаз и головы на статические и динамические вибрационные воздействия на сиденье водителя. На тренажере 18 участников эксперимента провели по три сеанса: без имитации вождения, с управлением виртуальным высокоавтоматизированным автомобилем без отвлечения на решение отвлекающей задачи и с необходимостью принятия решения интеллектуально сложной задачи. В каждом сеансе участники получили по четыре вибровоздействия в левой или правой части сиденья и четыре блуждаю-

Пользование мобильным телефоном чреватого рисками совершения спонтанных маневров и столкновений

щих динамических в сиденьи и спинке. Результаты показали, что правильность ответов на сложные умственные вопросы варьировался до 94 % при статическом тактильном воздействии в каждом сеансе и до 74 % – при динамическом, хотя эти эффекты и не были статистически значимыми. Время реакции по повороту рулевого колеса при статическом вибровоздействии было приблизительно на 200 мс быстрее, чем при динамическом. Результаты слежения за глазами выявили соответствие между направлением головы и направлением изменения полосы движения и показали, что движения головы и глаз ускоряются в большей степени при статических вибрациях, чем при динамических.

Очень эффективными в плане предотвращения столкновений в ДТП является [17] использование высоко оцененной в контрольных испытательных заездах функции электронной системы поддержки водителя с автоматическим распознаванием дорожных знаков. Она основана на усовершенствованном двухуровневом алгоритме LeNet-5 идентификации на инновационной сверточной нейронной сети визуальных шаблонов класса GTSRD в виде рисунков и надписей дорожных знаков. Сотрудникам государственной лаборатории современных обучающих технологий, компьютерного колледжа Университета и государственной лаборатории речевых и изобразительных информационных процессов китайского Сианя установлена возможность распознавания образов в виде рисунков и надписей на дорожных знаках с увеличенной до 91,76%-й точностью.

Весьма продуктивным оказалось [18] и использование в технологии электронного идентификационного отслеживания дорожной полосы движения КТС лидара или сканирующего лазерного радара, отслеживающего границы проезжей части с использованием облачных информационных компьютерных технологий и баз данных. Эта инновационная технология позволяет значительно повысить потенциал активной безопасности КТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Cicchino J.B., Zuby D.S.** Prevalence of Driver Physical Factors Leading to Unintentional Lane Departure Crashes // Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 18, № 5. С. 481–487.
2. **Zhou W., Wang X., Zhang D.** Truck Crash Severing in New York City. An Investigation of the Spatial and the Time of Day Effects // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 249–261.
3. **Lubbe N.** Brake Reaction of Distracted Drivers to Pedestrian Forward Collision Warning Systems // J. Safety Res. [Электронный ресурс]. 2017. 61. С. 23–32.
4. **Dorondgar S., Chuang H.M., Perry P.J., Thomas K., Bohnert K., Canedo J.** Driving Performance Comparing Older Versus Younger Drivers // Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 18. № 1. С. 41–46.
5. **Lombardi D.A., Horrey W.J., Courtney T.K.** Age-Related Differences in Fatal Intersection Crashes in United States // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 20–29.
6. **Scott-Parker B., Oviedo-Trespalacios O.** Young Drivers Risky Behaviour and Predictors of Crash Risk in Australia, New Zeland and Colombia: Same Out Different? // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 30–38.
7. **Li H., Tan S., Zhang S.** Identification of Drive Intention of HEV Based on SVM // Changchun gongye daxue xuebao Ziran kexue ban = J. Changchun Univ. Tecnol. Natur Sci Ed. 2017. 38, № 2. С. 133–137.
8. **Penmetsa P., Pulugurtha S.S.** Risk Drivers Pose to Themselves and Other Drivers by Violating Traffic Rules // Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 18, № 1. С. 63–69.
9. **Suhr K.A., Dula C.S.** The Dangers of Rumination on the Road: Predictors of Risky Driving // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 153–164.
10. **McCartney D., Desbrow B., Irwin C.** Using Alcohol Intoxication Goggles (Fatal Vision® Goggles) to Detect Alcohol Related Imprairment in Simulated Driving // Traffic Jnjury Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 18. № 1. С. 19–27.
11. **Sabder U.** Opportunities and Limitations for Intersection Collision Interventum – A Study of World "Left Turn Actors Path" // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 342–355.
12. **Dong H., Tang M., Cheng H.** Research Intelligent Control of Traffic Signal for Five-road Intersection of Unbelanced Traffic Flow // Zhangzhou daxue xuenao Gongxue ban = J. Zhengzhou Univ. Eng. Sci. 2017. 38, № 1. С. 68–73.
13. **Tang X., Zhou T., Lu d.** Analysis of Wide Range Population Flow Analysis Based on Mobile Pjone Signaling // Chongqing jiactong daxue xiebao Ziran kexye ban = J. Chongqing Jiatong Univ. Nat Sci. 2017. 36, № 1. С. 82–87.
14. **Cao W., Xu S.** A Broadcasting Policy of Emergency Warning Message in Vehicular Ad-hoc Network // Chongqing jiactong daxue xiebao Ziran kexye ban = J. Chongqing Jiatong Univ. Nat Sci. 2017. 36, № 1. С. 88–92.
15. **Lin J., Cao X., Wang L., Yan X.** Research on Preceding Vehicle Detection and Collision Warning Metrhod Based on OpenCV // Qiche jishn = Automob. Tecnol. 2017, № 6. С. 11–16.
16. **Petermeijer S.M., Cieler S., de Winter J.C.F.** Comparing Spatially Static and Dynamic Vibrotactile Tace-Over Reguests in the Driver Seat // Accid. Anal. And Prev. [Электронный ресурс]. 2017. 99. С. 218–227.
17. **Dang Q., Ma M., Chen Y.** A Traffic Sign Recognition Algorithm Based on the 2-Level Impored LeNet-5 // Shaansi shifan daxue xuebao Ziran kexue ban = J. Shaanxi Norm. Univ. Natur Sci Ed. 2017. 45, 2. С. 24–28.
18. **Kong D., Sun L., Wang J.-y.** Road Boundary Identification Algorithm Based on 3D LIDAR Point Cloud // Guangxi daxue xuebao Ziran kexue ban = J. Guangxi Univ. Nat. Sci Ed. 2017. 42, № 3. С. 855–863.

24-Я МОСКОВСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА "АВТОКОМПЛЕКС-2017"

А.А. Шурчков

1–3 ноября 2017 г. в павильоне № 7 и на открытых площадках ЦВК "Экспоцентр" прошла 24-я Московская международная выставка "Автокомплекс-2017". Организатором выставки, которую поддержали Правительство Москвы и Российский топливный союз, является ООО "АЗС-ЭКСПО".

Парк автотранспорта в России растет неуклонно. Рынок автосервиса и соответствующего оборудования практически безграничен. Это хорошо понимают российские и иностранные производители оборудования, участвующие в экспозиции выставки. Ежегодные осенние встречи в Москве специалистов, владельцев, инвесторов и деловых людей, занятых в сфере автозаправочного бизнеса, технического сервиса автотранспорта, гаражно-парковочного хозяйства, стали хорошей традицией.

Выставка "Автокомплекс-2017" является ведущей специализированной выставкой в СНГ и проводилась уже в 24-й раз. 108 фирм из 10 стран стали ее участниками. Среди них такие известные компании, как "Алюмтек", Beijing Sanki Technology, Cilbarco Veeder-Root, Franklin Fueling Sistems, Nupi Industrie Italiane, OPW, VDS, "ТАТСУНО Рус" и др.

СП "ТАТСУНО Рус" приступило к сборке новых топливораздаточных колонок. Благодаря новому основанию и конструкции из нержавеющих элементов облицовки, производителям удалось увеличить устойчивость и прочность новой ТРК. Другая особенность – использование механизма возврата раздаточного шланга, работающего надежно при низких температурах и обеспечивающего максимально возможную дистанцию для заправки автомобиля.

На выставке можно было увидеть пост контроля и аккумулирования газа и дегазации баллонов. Пост контроля предназначен для обеспечения безопасности, экономичности и снижения воздействия на экологию при эксплуатации и обслуживании всех марок газобаллонных автомобилей (ГБА) и сельхозтехники, работающих на КПГ. Пост является обязательным элементом технологической инфраструктуры транспортных средств работающих на КПГ, эксплуатации и обслуживании ГБА.

Компания FAFNIR уже более 30 лет производит высокоточные уровнемеры под маркой VISY-X, заслужив репутацию поставщика высокотехнологичной и высококачественной продукции. Добавление этих измерительных систем в ассорти-

Стенд компании Benza

Новые топливораздаточные колонки "ТАТСУНО Рус"

Электромобиль Tesla

мент продукции Gilbarco Veeder-Root позволило компании расширить свое присутствие в сегментах газомоторного топлива и нефтебаз. Уровнемеры VISY-X позволяют успешно вести коммерческий учет топливных запасов на объектах розничного и оптового звена сферы нефтепродуктообеспечения.

Новый имидж экспозиции выставки придал раздел: "Зарядные станции для электромобилей". "Россети", ABB, ABL Rus, "Экономические Электрорешения" продемонстрировали зарядные устройства с электромобилями Tesla и др.

Тематика "Газ как моторное топливо" была широко представлена компаниями "ФАСЭНЕРГМАШ", НПК "Шельф", "ТехноПроект", "Еврогалс", КБ "Вентиль".

Оригинальные технические решения для нефтебаз предлагали "Промприбор", Группа компаний "Скон", "Деловой Союз " и др.

Все необходимое для современного автомоечного оборудования было представлено на стендах: "Чистая планета", EHRLE, ISTOBAL и "Прессол".

Большой выбор оборудования самых известных производителей предлагали ТД "Все для АЗС", "ЛПГруп, "Лигир", компания "ТехноСистемы".

На открытых площадках были выставлены новейшие полуприцепы-цистерны компаний НПО "Нефтегазового оборудования и специального автомобилестроения" (GT-7).

На автозаправочных комплексах активно развивается сфера сопутствующих услуг. Соответствующее оборудование предлагали фирмы: "Профессиональные и Торговые автоматы", VendShop и "Франко".

Самым быстрорастущим сегментом в фастфуде стали закусочные при АЗС. По мнению экспертов, кофе – крайне маржинальный продукт. На фоне падения продаж топлива реализация более маржинальных продуктов – основной выход для топливных компаний. По мнению тех же экспертов, топливо – это большие обороты и низкая маржинальность. В горячем споре о том, чья маржа длиннее, главное – не забыть о качестве основного продукта на АЗС – автомобильного топлива.

Актуальные вопросы поднимались на Круглом столе: "Современное оборудование и технологии для газовых и мультитопливных автозаправочных комплексов". Организаторы мероприятия: "Газпром газомоторное топливо", Союз предприятий газомоторной отрасли (СПГО), Flussiggas Anlagen GmBH (FAS), "Татсуно Рус".

Большой интерес вызвал Круглый стол: "Опыт и перспективы развития сетей зарядных станций для электромобилей", организованный Российским топливным союзом, "Россети", АЗС-ЭКСПО. Получило поддержку предложение сделать нашу выставку постоянной площадкой экспозиции зарядных станций и обсуждения проблем развития соответствующей инфраструктуры.

Инициаторами многих мероприятий (презентаций, семинаров, конференций) выступили фирмы–участники выставки.

Большинство посетителей и участников выставки положительно оценивают ее результаты. Об этом говорит и то, что уже поступают заявки на участие в 25-й Юбилейной Московской международной выставке "Автокомплекс-2018", которая состоится с 30 октября по 1 ноября 2018 г. в павильоне № 7 (залы 3–5) и на открытых площадках ЦВК "Экспоцентр".

Информационную поддержку выставке оказали более двадцати специализированных СМИ. Среди них следует особо отметить журналы "Современная АЗС", "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо" (АГЗК+АТ).

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ – БУДУЩЕЕ ТРАНСПОРТА?

А.С. Савченко, по материалам информационно-аналитического издания "Нефтегаз дайджест"

В последние годы все более отчетливо проявляется электромобильный бум. Темпы, которыми в мире растет сегмент легкового транспорта, оснащенного вместо бензобаков аккумуляторными батареями, завораживают. Это породило ожидания близкого конца эры автомобильного транспорта: "еще немного, и на смену загрязняющим окружающую среду двигателям внутреннего сгорания массово придут экологически чистые электромоторы.

Нынешняя – далеко не первая – волна повышенного внимания к электромобилям начала формироваться в начале XXI в. Неудержимо дорожающая нефть формировала благоприятную среду для экспериментов с альтернативными источниками энергии, в том числе на транспорте. А когда в середине 2000-х годов производители аккумуляторов смогли впервые предложить рынку относительно дешевые батареи с неплохими эксплуатационными свойствами, возникли условия для стремительного роста парка электромобилей.

Если к концу 2010 г. в мире насчитывалось немногим более 100 тыс. электромобилей и автомобилей с гибридной тягой, то в 2011 г. было продано 56,7 тыс. электромобилей и гибридов, а год спустя – уже порядка 110 тыс. ед. Восходящая динамика продаж продолжилась и в последующие годы: 2013 г. – 240 тыс. электромобилей, 2014 г. – 317 тыс., 2015 г. – 549 тыс. При этом в середине 2015 г. общее количество электромобилей приблизилось к 1 млн ед. То есть за 5 лет их стало на порядок больше!

Электромобиль BYD

В 2016 г. только в электромобильные стартапы по всему миру было инвестировано 2 млрд долл. США – вдвое больше, чем годом ранее, и в 1,5 раза больше, чем за три предшествующие года. За прошлый год мировой парк электромобилей пополнился еще на 774 тыс. ед.

К концу 2016 г. по дорогам мира колесило уже более 2 млн электромобилей. По оценкам МЭА, в 2017 г. в мире было продано 1,19 млн электромобилей, в 2018 г. будет 1,6 млн ед. В 2016 г. КНР стал государством с самым большим парком электромобилей (650 тыс. ед. против 560 тыс. в США), и теперь каждый второй новый электромобиль продается в Поднебесной.

Кстати, и по производству электромобилей сейчас лидирует Китай. По оценкам Bloomberg, концерн BYD продал за прошлый год 102,5 тыс. своих электромобилей, в том время как американская Tesla – только 75 тыс. На третьем месте в рейтинге производителей наиболее востребованных автомобилей с электромоторами – Volkswagen.

Конкурентным преимуществом китайской марки является цена. Годовая выручка BYD составила 3,8 млрд долл., в то время как Tesla заработала на продажах 6,35 млрд долл.

Важно подчеркнуть, что высокая динамика роста продаж электромобилей – это в значительной мере результат низкой базы. Если вспомнить, что в прошлом году в мире было продано 94 млн автомобилей, то окажется, что на долю машин на электрической тяге приходится сейчас примерно 0,82 % годового объема продаж. Опять же, 2 млн электромобилей – это всего лишь 0,14 % мирового автомобильного парка, в котором сейчас более 1,4 млрд транспортных средств.

В отдельных регионах продажи идут значительно активнее: в прошлом году в Норвегии доля электромобилей в составе автомобильных продаж составила 24 % (в сегменте легкового транспорта – 42 %), в Голландии – 5 %, в Швеции – 3,2 %. Но это, скорее, исключение из правила. Причем даже в этих странах присутствие электромобилей в общем потоке транспортных средств едва заметно.

Еще одна существенная деталь. Впечатляющие цифры, которые у всех на слуху, рисуют завышенно оптимистичную картину. Помимо собственно электромобилей (battery electric vehicle – BEV) в подсчеты, как правило, включаются и гибридные автомобили (HEV – hybrid electric vehicle или PHEV – plug-in hybrid electric vehicles). В 2016 г. доля плагин-гибридов в составе продаж

Электромобиль Tesla Model 3

электромобилей в широком смысле снизилась до 37 % против 40 % годом ранее. Но она все еще очень велика. По производству собственно электромобилей предсказуемо лидирует Tesla. За ней следуют Nissan и BYD.

В ряде стран приняты меры, призванные подстегнуть процесс вытеснения автотранспорта электромобилями. Так, в Норвегии обещано прекратить продажу автомобилей с 2025 г. Правительство Великобритании, озабоченное состоянием воздушной среды, объявило о запрете продаж автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями, в том числе гибридных, с 2040 г. В Индии собираются запретить продажу автомобилей с ДВС к 2030 г. – здесь лейтмотивом является стремление сократить импорт жидких моторных топлив и тем самым уменьшить зависимость транспортного парка от внешних факторов.

Еврокомиссия пока не планирует вводить квоты, помогающие электромобилям вытеснять автотранспорт с ДВС. Но отдельные европейские страны целесообразность ограничительных барьеров рассматривают. К 2050 г. отказаться от автомобилей планируют Германия и Нидерланды. Кстати, аналогичные намерения анонсированы в ряде штатов США. В целом по стране продажи электромобилей растут почти на треть ежегодно, а по итогам 2017 г. ожидается 40%-ный прирост.

Электрогрузовик Tesla Semi

Но даже на фоне столь высокой активности доля электротранспорта в годовых продажах ожидается на уровне 10 % только к 2023 г. и около 20 % к 2025 г.

Власти Китая близки к тому, чтобы запретить производство на своей территории бензиновых и дизельных автомобилей. Причем этот производственный сегмент может оказаться под запретом уже в 2025 г. Правда, предполагается, что мораторий не будет распространяться на гибридный колесный транспорт. При этом уже в 2018 г. электромобили или гибриды должны составить здесь не менее 8 % производства, а к 2020 г. – 12 %.

В ряды заядлых приверженцев электротранспорта вступают все больше автоконцернов. Audi к 2022 г. перенаправит 12 млрд долл. инвестиций на разработку и создание электромобилей. Начиная с 2019 года каждый автомобиль, производимый шведской компанией Volvo Cars, будет оснащаться электродвигателем; к 2025 г. продажи Volvo с электроприводом должны достигнуть 1 млн ед. ежегодно. Концерн Volkswagen намерен утроить размер инвестиций в разработку автомобилей с электрическими и гибридными силовыми установками; с 2017 по 2022 г. на эти цели будет выделено 9 млрд евро против 3 млрд евро за предыдущие 5 лет.

Tesla планирует нарастить выпуск до 500 тыс. электромобилей к 2018 г. благодаря запуску в производство новой модели – Tesla Model 3, рассчитанной на массового потребителя.

Пока электромобильный сегмент развивается, главным образом, в легковом исполнении. Но, возможно, не за горами время, когда коммерческим направлением станут аккумуляторные грузовики. В ноябре 2017 г. Tesla представил электрический грузовик Semi, который способен проезжать без подзарядки до 800 км. Серийное производство может начаться в 2019 г.

Говоря о стремительно растущей популярности электромобилей, нужно отдавать отчет, что конкуренция электро- и автотранспорта не является чисто рыночной.

Как правило, электромобили стоят очень дорого, заряжаются долго, а запас хода имеют небольшой. Новые предпочтения формируются под влиянием масштабных протекционистских мер. Государства заинтересованных стран компенсируют владельцам электромобилей значительную часть стоимости и эксплуатационных затрат, дают налоговые послабления, строят зарядные станции, предоставляют бесплатные парковки и щедро раздают другие "пряники".

Например, анонсированный британскими властями ускоренный переход на электромобили недешево обойдется казне. На одних только налоговых льготах государство потеряет порядка 30 млрд фунтов стерлингов. Еще более 200 млрд фунтов придется потратить на строительство 10 тыс. ветряных турбин и десяти атомных электростанций – в результате "транспортной революции" потребность в электроэнергии вырастет в полтора раза.

И обратный пример. Принятое в прошлом году правительством Дании решение отменить налоговые льготы владельцам электромобилей отозвалось значительным падением продаж в этом сегменте.

По итогам первого квартала 2017 г. продажи электромобилей упали здесь почти на 2/3, в то время как на основных рынках Европы они выросли на 30 %.

Эти примеры отчасти объясняют невысокую, мягко говоря, популярность электромобилей в России. На начало 2017 г. в нашей стране было легализовано 920 электромобилей. В 2016 г. удалось продать 83 электромобиля против 116 единиц годом ранее. За 7 месяцев 2017 г. было продано 39 электромобилей, но 18%-ный рост продаж стал, скорее, нервной реакцией на возвращение с 1 сентября 17%-ной экспортной пошлины.

Значимых привилегий российские владельцы электромобилей не получают. Только в Санкт-Петербурге, Московской и Калужской областях они освобождены от уплаты транспортного налога. Единственной привилегией для москвичей является бесплатное пользование парковками. Престижные Tesla, конечно, покупают, но преимущественно, как модную игрушку.

Достижения отечественного автопрома на ниве транспортной электрификации исчерпываются выпуском в 2012 г. менее сотни экземпляров LADA Ellada, которые за 5 лет так и не удалось распродать. Во-первых, без дотаций стоят они непостижимо дорого – 1,25 млн руб. Во-вторых, когда холодно (а на большей части страны морозы – дело обыденное), и без того невысокий пробег без подзарядки сокращается в разы.

Электромобиль LADA Ellada

В-третьих, количество зарядных станций весьма невелико, что создает дополнительные риски и проблемы.

Всерьез проблемой электрозарядной инфраструктуры в российском правительстве занялись только сейчас. "Российские сети" недавно анонсировали создание первой федеральной системы зарядных станций. Пока у "Россетей" 130 электрозаправок, до конца года планируется увеличить их число до 190.

Российские власти лелеют амбициозные относительно наших реалий планы – к 2020 г. рынок электромобилей в стране должен вырасти до 200 тыс. ед. Конечно, нереально увеличить парк в сотни раз за три года, тем более если ничего радикального не предлагать.

Пока же Mitsubishi, которая с большим энтузиазмом начинала осваивать наш рынок, прекратила продажи электромобилей в России – пока государство не начнет развивать инфраструктуру для электромобилей, их продажи бесперспективны.

Правда, печальный опыт АвтоВАЗа и Mitsubishi не для всех стал поучительным примером. Объявлено, что весной 2018 г. в Приморье начнется строительство российско-японского предприятия по производству электромобилей; для начала здесь рассчитывают выпускать до 5 тыс. "легковушек" в год. В рамках проекта, получившего название "Прометей", японские малолитражки будут переделываться в электрокары.

Электромобиль Mitsubishi i-Miev

Оценки перспектив развития электрического транспорта порой разнятся очень сильно. Но никто не сомневается в том, что динамика будет восходящей. Ведущие автомобильные концерны планируют к 2025 г. в совокупности продавать по 6 млн электромобилей в год, а к 2030 г. нарастить объем до 8 млн. Норвежская Statoil рассчитывает, что к 2030 г. на долю электромобилей будет приходиться 30 % всех продаваемых транспортных средств.

Международное энергетическое агентство ожидает, что к 2030 г. по дорогам мира будут колесить до 58 млн электромобилей. Прогноз Exxon Mobil на 2040 г. – 100 млн, а BP ожидает, что этот рубеж будет достигнут на 5 лет раньше. ОПЕК недавно повысила прогноз по парку электромобилей до 266 млн ед.

Базовый сценарий, подготовленный VYGON Consulting, предполагает рост доли гибридов, электромобилей и автомобилей на газе в структуре мировых продаж до 56 % к 2035 г. Реализация автомобилей с ДВС, по этим оценкам, сократится до 38 %, а собственно электромобилей – вырастет до 20 %.

Ключевую роль в развитии сегмента электромобилей сыграет то, насколько успешными будут попытки удешевить производство аккумуляторных батарей – самого дорого элемента в электромобилях.

Еще в 2009 г. каждый кВт·ч емкости стоил 1000 дол., сейчас – около 230 дол. Предполагается, что снижение ценового порога до 100 за кВт·ч позволит электромобилям успешно конкурировать с автомобилями на ДВС. Правда, остается открытым вопрос о том, удастся ли получать литий и другое дефицитное сырье в количествах, необходимых для массового производства аккумуляторов. Да и сколько такое сырье будет стоить, когда спрос на него вырастет многократно.

Очевидно, что по мере развития электрического транспорта правительства не смогут поддерживать этот сегмент налоговыми и прочими льготами. На это у них попросту не окажется средств, когда финансовые запросы на эти цели вырастут многократно, а топливные акцизы серьезно сократятся.

Заслуживают более пристального внимания и экологические аспекты развития электротранспорта. Так, аналитики ЛУКОЙЛа отмечают, что электромобили не столь безвредны для окружающей среды, как это воспринимается в массовом сознании. Во-первых, некоторые источники энергии для электромобиля могут быть не совсем "чистыми" (например, уголь). В этом случае экологические последствия от распространения электромобилей будут отрицательными. Во-вторых, литий и прочие компоненты батарей способны оказать значительное негативное воздействие на окружающую среду. В-третьих, влияние электромагнитного излучения от батареи электромобиля на организм человека до конца не изучено.

Как минимум, в течение ближайших 20 лет авторитетные аналитические центры не ожидают серьезных потрясений для производителей нефти в связи с активной электрификацией дорожного транспорта.

Да, этот сегмент стремительно развивается. Но доля его в обозримом будущем не вырастет до объемов, способных значительно скорректировать спрос на нефть и производимое из нее топливо.

По оценкам BP, как минимум, до 2035 г. спрос на нефть все еще будет понемногу расти – среднегодовыми темпами 0,7 %. Основное потребление нефти по-прежнему придется на транспорт, доля которого в потреблении сохранится на уровне 60 %. При этом добыча нефти в России будет стабильна и проблем со сбытом не предвидится.

Аналогично оценивают перспективы и другие источники. Например, ExxonMobil ожидает, что, как минимум, до 2040 г. нефть останется главным источником энергии и будет обеспечивать треть мировых энергетических потребностей.

Другое дело – газ как альтернатива электричеству. Чтобы хорошо на нем заработать, нужно без промедления вкладываться в производство сжиженных углеводородных газов (СУГ).

Газовые автобусы НЕФАЗ для Новокузнецка

Два газовых автобуса НЕФАЗ-5299-11-31 поставлены в адрес НП "Автолайн", одного из крупных перевозчиков Новокузнецка.

Автобусы производства ПАО "НЕФАЗ", дочернего предприятия "КАМАЗа" в Башкирии, с двигателем на компримированном природном газе прибудут в Новокузнецк в ближайшие дни. Эти НЕФАЗы пополнят автопарк транспортного предприятия "Автолайн" и выйдут на линию городского маршрута № 94, а также будут задействованы в вахтовых перевозках.

"Новые НЕФАЗы имеют 45 посадочных мест, общая вместимость – 89 чел. Уже скоро они выйдут на дороги города. Планируем в дальнейшем закупить еще пять автобусов этой модели", – прокомментировала директор "Автолайна" Евгения Корюкова.

Поставщиком техники выступил официальный дилер ПАО "КАМАЗ" – АО "ВОСТОК-АВТОТРАНС".

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

100 ГАЗОМОТОРНЫХ SCANIA ОБЕСПЕЧАТ "ЗЕЛЕНУЮ" ЛОГИСТИКУ КОНЦЕРНА VOLKSWAGEN AG

Более 100 грузовиков Scania на сжиженном природном газе (СПГ/LNG) будут работать на севере Германии в рамках инициативы, призванной повысить экологическую безопасность транспортных операций концерна Volkswagen AG. Проект проводится при поддержке правительства Германии, ассоциаций и поставщиков газа.

Для того чтобы ускорить реализацию проекта, его участники провели встречу в рамках "Дня грузовой техники на СПГ", недавно прошедшего в Вольфсбурге.

"Грузовики с пониженным уровнем выбросов являются центральным элементом нашей инициативы Green Logistics ("Зеленая логистика"), которая является частью концепции социальной и экологической ответственности. Мероприятие "День грузовой техники на СПГ" дало новый толчок распространению автомобилей с силовыми агрегатами на альтернативном виде топлива. Однако мы добьемся успеха только с сильными партнерами – совместные усилия выведут нас на правильный путь", – сказал Томас Цернехель, руководитель отдела логистики Volkswagen AG.

Комплексное предложение

На общей встрече представители логистического подразделения Volkswagen AG, Scania, участвующие в проекте поставщики газа и 18 региональных экспедиторских компаний единогласно поддержали идею экологоустойчивой логистики. Экспедиторы концерна Volkswagen AG в северной части Германии получат более 100 грузовиков Scania, работающих на СПГ. Министерство транспорта и цифровой инфраструктуры Германии предоставит компаниям комплексное решение для покупки грузовиков. Поставщики газа взяли на себя задачу по строительству сети заправочных станций СПГ в регионе эксплуатации.

Франк Бональдо, представитель Федерального министерства экономики и энергетики, подчеркнул значимость силовых агрегатов, работающих на СПГ: "В Испании, Нидерландах, Франции и других странах система поставок СПГ для автотранспорта действует гораздо лучше, чем у нас. Германии необходимо срочно догнать своих партнеров. Только так мы сможем достичь целей по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 г. по сравнению с 1990 г.: на 55 % во всех секторах, потребляющих углеводороды, и на 40 % – в транспортном секторе. Поэтому Федеральное министерство транспорта и цифровой инфраструктуры, Федеральное министерство экономики и энергетики, а также газомоторная ассоциация Zukunft Erdgas поддержали это

Грузовики Scania, работающие на СПГ, являются центральным элементом инициативы Green Logistics

стремление. Федеральное министерство транспорта и цифровой инфраструктуры объявило о государственной поддержке производителей, чтобы они могли предлагать грузовую технику на СПГ по доступной цене".

Сокращение выбросов

СПГ намного меньше воздействует на окружающую среду, чем традиционные виды топлива. Грузовики Scania с силовыми агрегатами, работающими на СПГ, производят до 20 % меньше CO_2, чем автомобили с сопоставимыми дизельными двигателями. Более того, использование регионального и местного биогаза сокращает выбросы CO_2 на впечатляющие 90 %. В дополнение к этому такие силовые агрегаты производят на 95 % меньше оксидов азота (NO_x). В процессе сгорания топлива образуется меньше твердых частиц, и их поступление в атмосферу практически полностью исключается (–95 %). По сравнению с дизельными двигателями уровень шума при сгорании газа ниже примерно на 50 % (–3 дБ).

Петер Хорниг, управляющий директор представительства Scania в Германии и Австрии, объясняет: "В настоящее время КПГ (компримированный или сжатый природный газ) главным образом применяется в секторе потребителей моторного топлива. С другой стороны, и СПГ (сжиженный природный газ)

Томас Цернехель, руководитель отдела логистики Volkswagen AG

получает все более широкое распространение, особенно в сегменте магистральных перевозок". Стефан Цигерт, руководитель направления альтернативных транспортных решений компании Scania, добавляет: "СПГ особенно интересен как топливо для магистральных грузовиков, поскольку технический прогресс позволяет увеличить расстояние, проходимое на одном баке, и обеспечивает самое чистое сгорание любых ископаемых видов топлива. Благодаря современным технологиям СПГ автомобиль в состоянии проезжать до 1600 км".

Руководитель направления техники на газомоторном топливе ООО "Скания-Русь" Иван Папазов комментирует распространение автомобилей на СПГ: "Переход со сжатого (компримированного) к сжиженному природному газу – это следующий шаг развития газомоторной техники, и он позволяет увеличить пробег между заправками до 1600 км (вместо 500 км на КПГ) и обеспечить заправочную инфраструктуру там, где это было ранее невозможно из-за привязки традиционных АГНКС (автомобильные газовые наполнительные компрессорные станции) к магистральным трубопроводам. Развивая направление газомоторных автомобилей Scania в России, "Скания-Русь" готова с 2018 г. поставлять для российских клиентов транспортные решения на сжиженном природном газе и тем самым увеличивать эффективность использования подобной техники".

"Зеленая" логистика

Намерение использовать грузовики на СПГ является частью инициативы Green Logistics логистического подразделения концерна Volkswagen AG. Эта инициатива основана на стратегии TOGETHER 2025 ("ВМЕСТЕ 2025"), в соответствии с которой концерн Volkswagen AG взял на себя обязательство по ответственному природопользованию и постоянному сокращению выбросов. Проект ставит своей задачей обеспечить экологически благоприятную логистику в пределах подразделений концерна. В связи с этим идет непрерывная оптимизация перевозок компании, направленная на максимально эффективное использование мощностей и исключение порожних рейсов. Переход на экологически более безопасные транспортные операции играет ключевую роль в сокращении выбросов. Кроме того, технологии силовых агрегатов постоянно совершенствуются, и в данный момент изучаются возможности применения новых видов агрегатов. Например, начиная с 2019 г. два судна, работающих на СПГ, будут перевозить автомобили VW между Европой и Северной Америкой. Намерение использовать грузовики, работающие на СПГ, экспедиторами концерна Volkswagen является еще одним шагом к использованию альтернативных силовых агрегатов в логистике.