Color profile: Disabled
Composite Default screen

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

№ 8 (101) 2015 г. **Издается с января 2002 г.** **Периодичность – ежемесячно**

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

Коротков М.В.
Оценка экологической эффективности использования газомоторного топлива . . . 3
Рассмотрены проблемы рационального использования ресурсов и снижение негативного воздействия деятельности человека на окружающую среду, а также дана оценка экологической эффективности от использования газомоторного топлива.

Коклин И.М., Потапенко М.С., Маленкина И.Ф.
Развитие систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом . . . 9
В статье изложены результаты комплексных исследований и приведены рекомендации по развитию систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом.

Черняховская Ю.В., Юданов С.В.
Диметиловый эфир (ДМЭ) как топливо для автотранспорта . . . 22
Необходимость дополнения ископаемых источников топлива для транспорта возобновляемыми, снижения выбросов парниковых газов и другие факторы побуждают производителей топлив, транспортных средств, общественные организации и государственные учреждения активнее включаться в работу по нахождению альтернатив традиционным топливам, их сравнительной оценке и подготовке к внедрению в практику.

Ассад М.С.
Исследование некоторых особенностей горения водорода и сопоставление с углеводородными топливами . . . 26
Рассмотрен водород в качестве альтернативного топлива для автотранспортных средств. Проведены исследования топливно-воздушных смесей на основе водорода и пропана.

Казаков Д.В., Кущева Е.Н., Кугрышева Л.И.
Метод контроля технического состояния мобильных энергетических средств, работающих на альтернативных видах топлива . . . 30
Предложен метод контроля энергетических параметров мобильных энергетических средств бестормозным способом, основанный на оценке их динамических качеств.

Бузановский В.А.
Современные сенсоры взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования . . . 33
Представлены результаты разработок наносенсоров паров сжиженного нефтяного газа. Проведена систематизация указанных устройств и проанализированы их метрологические характеристики. Показана пригодность газонаносенсоров (ГНС) для обеспечения взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования.

Васюков Г.В., Корольченко А.Я., Рубцов В.В.
Особенности формирования взрывоопасных объемов пропан-бутана при его поступлении в закрытые помещения с газобаллонными автомобилями . . . 40
Рассмотрено влияние температуры и влажности воздуха на формирование локальных взрывоопасных объемов пропан-бутана. Предложена методика расчета коэффициента Z с учетом температуры и влажности воздуха.

Леонгардт А.Н.
Газобаллонное оборудование на метане . . . 48
В условиях, когда топливо постоянно дорожает, его цена начинает играть все большую роль. Тем приятнее будет узнать, что даже по сравнению с 92-м бензином метан стоит вдвое меньше. Если к этому прибавить более низкий расход топлива, получится, что эксплуатация автомобиля, оснащенного ГБО, обходится в несколько раз дешевле по сравнению с бензиновыми и дизельными аналогами.

Никишенков О.В.
"Сколково" на выставке и конференции "Нефть и газ – 2015" . . . 52
В Москве 23–26 июня 2015 г. прошла важнейшая для нефтегазовой отрасли России международная выставка и конференция "Нефть и газ – 2015" (MIOGE 2015). Неотъемлемой частью программы отраслевого диалога и экспозиции технологических новинок отрасли стало участие сколковских нефтегазовых проектов и менеджмента ЭЭТ кластера.

"Газпром" и "КАМАЗ" развивают сотрудничество . . . 54
Для передвижных автомобильных газовых заправщиков . . . 54
CNH industrial и выставки Expo-2015 . . . 55
Пилотный СПГ-проект . . . 56

Учредитель
ООО "Издательство 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:
д.т.н. **С.П. Горбачев** (ООО "ВНИИГАЗ", г. Москва)
член-корр. АН РТ **Г.С. Дьяконов** (Респ. Татарстан, г. Казань)
д.т.н. **Н.А. Иващенко** (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)
д.т.н. **Н.Г. Кириллов** (ООО "ИИЦ Стирлинг-Технологии", г. Санкт-Петербург)
д.т.н. **Г.К. Лавренченко** ("УА-СИГМА", Украина)
член-корр. НАН **Ю.Н. Литвишков** (Азербайджан, г. Баку)
академик НАН **И.И. Лиштван** (Беларусь, г. Минск)
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
Л.Н. Косова

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
mashpubl@mashin.ru
www.mashin.ru

Подписано в печать 03.08.2015 г.
Формат 60×88 1/8. Бумага мелованная.
Усл. печ. л. 6,86.
Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб. д. 54, пом. 4

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогам): "Роспечать" – инд. **84180**; "Пресса России"– инд. **39543**; "Почта России" – инд. **10044**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). **Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–48491**

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", 2015

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:54:59

Color profile: Disabled
Composite Default screen

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

№ 8 (101) 2015 г. **Published from January, 2002** **Periodicity – monthly**

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

CONTENTS

Korotkov M.V.

Assessment of environmental efficiency of the use of gas fuel 3
The problems of rational use of resources and reduce the negative impact of human activities on the environment, and assesses the environmental efficiency of the use of gas motor fuel.

Koklin I.M., Potapenko M.S., Malenkina I.F.

The development of gas supply systems for consumer gas motor fuel 9
The article presents the results of comprehensive research and provides recommendations for the development of gas supply systems for consumer natural gas.

Chernyakhovskaya Yu.V., Yudanov S.V.

Dimethyl ether (DME) as a fuel for motor vehicles 22
The need to supplement fossil fuels with renewable fuels for transport, reducing greenhouse gas emissions and other factors induce producers of fuels, vehicles, community organizations and government agencies actively involved in the work on finding alternatives to traditional fuels, their comparative assessment and preparation for implementation in practice.

Assad M.S.

A study of certain features of hydrogen combustion and comparison with hydrocarbon fuels 26
Considered hydrogen as an alternative fuel for motor vehicles. Investigations of the combustion of fuel-air mixtures based on hydrogen and propane.

Kazakov D.V., Kushcheva E.N., Kugrysheva L.I.

Control method of technical condition of the mobile the power means working at alternative types of fuel 30
The control method of power parameters of mobile power means without brake way based on an assessment of their dynamic qualities is offered.

Buzanovskii V.A.

Modern sensors for fire-explosion safity of auto gas refueling equipment 33
Development results of nanosensors of liquefied petroleum gas vapors are presented. Systematization of these devices is carried out and their metrological characteristics are analyzed. The ability of nanosensors to ensure fire-explosion safety of auto gas refueling equipment is shown.

Vasukov G.V., Korolchenko A.Ya., Rubzov V.V.

Features of formation of explosive volumes of propane-butane as it enters enclosed spaces with natural gas vehicles 40
The effect of temperature and humidity on the formation of local explosive volumes of propane-butane. The method of calculating the coefficient Z for temperature and humidity.

Leonhardt A.N.

Gas equipment methane 48

Nikishenkov O.V.

Skolkovo in the ecxhibition and conference Oil and Gas-2015 52

Gazprom and KAVAZ develop cooperation 54

For mobile automobile gaz refuellers 54

CNH Industrial and exhibition Expo-2015 55

Pilot LNG project 56

Founder
LLC "Publishers Machinostroenie"

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:
doct. of techn. sc. **S.P. Gorbachev**
(LLC "VNIIGAZ", Moscow)
corresponding member of the AS RT **G.S. D'yaconov**
(Tatarstan Resp., Kazan)
doct. of techn. sc. **N.A. Ivashchenko**
(Bauman MSTU, Moscow)
doct. of techn. sc. **N.G. Kirillov**
(LLC "IPC Stirling-Technology", St. Petersburg)
doct. of techn. sc. **G.K. Lavrenchenko**
("UA-SIGMA", Ukraine)
corresponding member of the ANAS **Yu.N. Litvishkov**
(Azerbaijan, Baku)
academician of the NAS **I.I. Lishtvan**
(Belarus, Minsk)
academician of the RANS **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
L.N. Kosova

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
mashpubl@mashin.ru
www.mashin.ru

The magazine is distributed by subscription, which can be obtained at any post office (directory indexes):
"Rospechat" – ind. **84180**, "The Russian Press" – ind, **39543**, "Mail of Russia" – ind. **10044**

The magazine is registered with the Federal agency for Supervision of Communications, Information Technology and Communications (Roskomnadzor), **Registration certificate PI N FS77–48491**

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

© LLC "Innovative mashinostroenie" Publishers, "Autogas filling complex + alternative fuel", 2015

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:03

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 662.6/.8

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

М.В. Коротков, канд. техн. наук, ООО "Газпром добыча Оренбург"

Рассмотрены проблемы рационального использования ресурсов и снижение негативного воздействия деятельности человека на окружающую среду, а также дана оценка экологической эффективности от использования газомоторного топлива.

Ключевые слова: моторное топливо, водород, сжиженный углеводородный газ (СУГ), компримированный природный газ (КПГ), дизель, отработавшие газы, экология.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE USE OF GAS FUEL

Korotkov M.V.

The problems of rational use of resources and reduce the negative impact of human activities on the environment, and assesses the environmental efficiency of the use of gas motor fuel.

Keywords: motor fuel, hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), compressed natural gas (CNG), diesel, exhaust emissions, ecology.

Поскольку автомобильный транспорт является основным потребителем углеводородного сырья, а также наиболее значимым источником загрязнения атмосферного воздуха в большинстве крупных городов мира, то важным направлением в решении указанных проблем является развитие использования альтернативных видов моторного топлива [1].

В исполнение принятых решений ОАО "Газпром" по расширению использования газомоторного топлива, в ООО "Газпром добыча Оренбург" постоянно проводится планомерная, целенаправленная работа по замещению бензина сжиженным углеводородным газом (СУГ) и дизельного топлива (ДТ) компримированным природным газом (КПГ). Наряду с экономической привлекательностью использования СУГ и КПГ вместо традиционных видов топлива значимым достоинством применения газомоторных топлив является снижение загрязнения атмосферного воздуха за счет уменьшения выброса вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) автомобильными двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Известно, что работа ДВС неизбежно сопровождается выбросами ОГ, в которых содержится около 1200 компонентов, а из них подробно изучено около 200 соединений [2]. Наиболее опасными и подлежащими нормированию являются следующие ВВ: оксиды азота (NO_x), оксиды углерода (CO), суммарные углеводороды (CH) и оксиды серы (SO_x). Для дизелей дополнительно проводят испытания по оценке содержания в ОГ дисперсных частиц (PM), а также дымности ОГ. В табл. 1 представлены приведенные выбросы загрязняющих веществ с ОГ грузовыми автомобилями, работающими на различных видах топлива.

Все эти компоненты могут по-разному влиять на здоровье людей, так как они имеют различную токсичность и относятся к разным классам опасности. Кроме того, количество и доля (процентное содержание) этих компонентов в ОГ различных автомобилей также различны. Поэтому, используя только количественные характеристики выбросов ОГ, невозможно однозначно судить о том, каким образом оценить экологическую эффективность применения различных видов газомоторного топлива.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:03

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ с ОГ грузовых автомобилей

Виды топлива	Загрязняющие вещества, кг на тонну сгоревшего топлива				
	CO	CH	NO_x	Сажа	SO_x
Природный газ	192,1	54,9	25,6	–	–
Газодизельная смесь	357,6	53,2	28,0	2,4	6,0
Дизельное топливо	149,6	48,3	31,9	16,5	20,0
Бензин (неэтил)	527,4	66,1	40,4	0,6	2,0

Ранее сотрудниками ООО "Газпром добыча Оренбург" был разработан принципиально новый подход к оценке экологической опасности отработавших газов, на основе которого в настоящей статье предлагается оценить экологическую эффективность использования газомоторного топлива в ООО "Газпром добыча Оренбург".

Для оценки экологической эффективности применения СУГ и КПГ в качестве моторных топлив в ООО "Газпром добыча Оренбург" был использован методический подход, предложенный в работах [3, 4], который позволяет с позиции экологической безопасности однозначно судить о целесообразности переоборудования бензиновых автомобилей на СУГ и дизельных автомобилей для работы по газодизельному циклу.

Сущность использованного подхода заключается в определении интегрального показателя – категории опасности вещества (*КОВ*), которая рассчитывается по формуле:

$$КОА = \sum_{1}^{n} КОВ_i = \sum_{1}^{m} \left(\frac{M_i}{ПДК_i} \right), \qquad (1)$$

где $КОВ_i$ – категория опасности i-го вещества, м^3 /с; $ПДК_i$ – максимально-разовая предельно-допустимая концентрация вещества, характеризующая его токсичность, г/м^3; M_i – количество выбросов i-го вещества, г/с;

Категория опасности вещества имеет размерность [м^3/с]. Эта размерность означает некий виртуальный объём воздушной среды, требуемый для того, чтобы рассеять загрязняющие вещества, генерируемые источником с определённой объёмной скоростью, до безопасных концентраций. Здесь следует отметить, что речь идёт о виртуальном, т.е. условном объёме воздушной среды, потому что в реальности атмосфера очищается не только за счёт рассеивания вредных веществ в своём объёме (конвективная и молекулярная диффузия), но и за счёт оседания вредных веществ и их вымывания из атмосферы с осадками в виде дождя и снега.

Категория опасности ОГ автомобиля (*КОА*) – сумма категорий опасности различных токсичных веществ, входящих в состав ОГ. *КОА* выступает интегральной характеристикой экологической опасности отработавших газов автомобиля как источника выбросов многих загрязняющих веществ в воздушную среду.

Существует множество подходов к оценке экологической опасности ОГ автомобильных ДВС, однако представленный методический подход нами был использован потому, что он имеет ряд значимых преимуществ:

– учитывает не только количество выбросов различных компонентов ОГ, но и их токсичность (предельно-допустимую концентрацию) и тем самым устанавливает чёткую взаимосвязь между техническими характеристиками работы ДВС и его экологическими характеристиками (существующими санитарными нормами). Другими словами, категория опасности вещества (автомобиля) является не технической, а технико-экологической характеристикой работы ДВС либо автомобиля в целом;

– позволяет сравнивать и ранжировать опасность различных токсичных компонентов в ОГ;

– позволяет суммировать категории опасности разных токсичных веществ, так как они име-

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:04

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ют единые физический смысл и размерность [м^3/с]. Благодаря этому можно знать общую опасность всех вредных компонентов, выбрасываемых источником, с учётом их количества и токсичности;

– позволяет объективно сравнивать и однозначно оценивать экологическую опасность ОГ различных автомобилей (использующих ДВС) независимо от их типа, назначения, грузоподъёмности, вида используемого топлива, а также прочих конструктивных и индивидуальных особенностей;

– позволяет объективно сравнивать и однозначно оценивать экологическую эффективность применения разных видов моторного топлива;

– применим также и для промышленных предприятий. Это позволяет сравнивать экологическую опасность передвижного источника (автомобиля) с экологической опасностью стационарного источника (промышленного предприятия). Благодаря этому стало возможным оценивать вклад и автотранспорта, и предприятий в загрязнение атмосферного воздуха города, а в последствии, через экологическую емкость воздушной среды урбанизированной территории, устанавливать экологические ограничения.

Расчет экологической эффективности использования КПГ и ГСН в ООО "Газпром добыча Оренбург". В настоящее время в структурных подразделениях ООО "Газпром добыча Оренбург" переведено и эксплуатируется 563 газобаллонных автомобиля. Причем 505 из них, работающих на бензине, были переоборудованы для работы на сжиженном углеводородном газе и 58 дизельных автомобилей были переоборудованы для работы по газодизельному циклу, при котором используется смесь дизельного топлива (30 %) и компримированного природного газа (70 %). В качестве исходных данных нами были использованы данные о расходе топлива этими автомобиля (табл. 2).

Известно, что при переводе бензиновых автомобилей на СУГ увеличивается расход топлива. То есть, для выполнения той же автотранспортной работы при использовании СУГ

Таблица 2

Расход топлива автотранспортными средствами ООО "Газпром добыча Оренбург"

Количество автомобилей	Использовано топлива за расчетный период	Вид топлива	Расчетный период
505 ед.	3287712 л	СУГ	01.01.14–30.09.14
58 ед.	212992 м^3	КПГ	

автомобилю потребуется в среднем на 25 % больше СУГ (по объёму), чем бензина. Следовательно, для расчёта экологической эффективности использования СУГ в качестве моторного топлива примем, что если бы эти 505 автомобилей не были переоборудованы для работы на СУГ, то при укрупнённом расчёте расход бензина составит:

$V_{бензина} = 3287712 \div 1{,}25 = 2630170$ л;

при этом масса такого количества бензина ($\rho_{бензина} = 0{,}75$ для А-80) составит:

$M_{бензина} = 2630170 \cdot 0{,}75 = 1972627{,}5$ т.

В отношении газодизельных автомобилей следует отметить, что их двигатели оснащаются двухтопливной системой питания, т.е. одновременно используется и дизельное топливо, и КПГ. Сначала в цилиндр подаётся газовоздушная смесь, а в конце такта сжатия, когда начинается воспламенение, – некоторая доза запального топлива, которым в данном случае выступает дизельное топливо [5]. Величина запальной дозы зависит от конструкции двигателя, и для автомобилей ООО "Газпром добыча Оренбург" она составляет 30 % по массе.

Следовательно, масса газодизельного топлива, использованного 58 автомобилями ООО "Газпром добыча Оренбург", за расчетный период будет сумма масс использованных компримированного природного газа ($\rho_{КПГ} = 0{,}72$ кг/м^3) и дизельного топлива ($\rho_{ДТ} = 0{,}84$ кг/л):

$M_{КПГ} = 212992 \cdot 0{,}72 = 153354$ т;

$M_{ДТ} = 153354 \cdot 0{,}3 = 46006$ т;

$M_{\Sigma ГД} = 153354 + 46006 = 199360$ т.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:04

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 3

Скорости генерирования различных загрязняющих веществ в атмосферу автомобилями ООО "Газпром добыча Оренбург"

Виды топлива	Загрязняющие вещества, г/с				
	CO	CH	NO_x	Сажа	SO_x
Газодизельная смесь	3022	450	237	20	51
Бензин (неэтил)	44107	5528	3379	50	167

Таблица 4

Предельно-допустимые концентрации различных загрязняющих веществ, присутствующих в ОГ ДВС

Вещество	Максимально-разовая, предельно-допустимая концентрация (ПДК), г/м^3
CO	0,003
CH	0,0015
NO_x	0,000085
Сажа (С-углерод)	0,00015
$SO_x(SO_2)$	0,00005

В экологической практике принято руководствоваться принципом промышленного метаболизма, позволяющего отследить материально-энергетические потоки, проходящие через любую техническую систему. Поэтому для оценки экологической опасности ОГ данные о выбросах каждого загрязняющего вещества необходимо представить в виде его количества, генерируемого источником (выхлопная труба автомобиля) в единицу времени, – (г/с). Поэтому, зная массу топлива, использованного автомобилями ООО "Газпром добыча Оренбург" за расчетный период (I – III кв. = 273 сут = = 23587200 с), а также удельные значения выбросов вредных веществ при использовании различных видов топлива (табл. 1), можно представить суммарный валовой выброс ВВ с ОГ всеми рассматриваемыми автомобилями в виде непрерывного потока этих веществ в атмосферный воздух (табл. 3).

Однако, как уже отмечалось выше, все эти вещества имеют различную токсичность и по-разному влияют на здоровье людей. Поэтому, на следующем этапе необходимо полученные значения пробеговых выбросов соотнести со значениями максимально-разовых предельно допустимых концентраций, установленных Гигиеническими нормативами 2.1.6. 1338-03 для этих веществ (табл. 4).

Используя данные табл. 3 и 4, по уравнению 1 можно рассчитать категории опасности веществ, присутствующих в ОГ ДВС (табл. 5).

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее опасным веществом в отработавших газах следует признать оксиды азота, а не оксид углерода, как это предполагалось ранее на основе анализа массовых характеристик выбросов. Так, на долю NO_x приходится от 53 % для газодизельной смеси до 64 % для бензина. Следующим по значимости – оксид углерода, доля которого составляет 19 % для газодизельной смеси и 24 % – для бензина. Из-за большого содержания оксидов серы в ОГ автомобилей, работающих по газодизельному циклу, на долю SO_x приходится 19 % опасности отработавших газов. Углеводородные соединения оказывают малозначимое влияние на формирование совокупной опасности ОГ, так как их доля не превышает 6 % для обоих видов топлива. На последнем месте по значимости находится сажа, вклад которой в формирование опасности составляет 3 % для газодизельной смеси и 1 % – для бензина.

Произведённый расчёт показывает, что для того, чтобы рассеять вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу с отработавшими газами 505 автомобилей, работающих на бензине, до неопасных для человека концентраций, ежесекундно потребуется 61,8 млн м^3 чистого атмосферного воздуха ($КОА_{бенз}$ = 61,8·10^6 м^3/с).

Чтобы рассеять вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу с отработавшими газами 58 автомобилями, работающими по газодизельному циклу, до неопасных для человека концентраций,

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:04

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 5

Категории опасности различных загрязняющих веществ, присутствующих в ОГ ДВС

Виды топлива	Категория опасности загрязняющих веществ											
	$КОВ_{CO}$		$КОВ_{CH}$		$КОВ_{NO_x}$		$КОВ_{сажа}$		$КОВ_{SO_x}$		$КОА$	
	м^3/с	%	м^3/с	%	м^3/с	%	м^3/с	%	м^3/с	%	м^3/с	%
Газодизельная смесь	1007333	19	3000000	6	2788235	53	133333	3	1020000	19	5448901	100
Бензин (неэтил)	14702333	24	3685333	6	39752941	64	333333	1	3340000	5	61813940	100

Таблица 6

Значения критерия экологической "приспособленности" различных видов моторного топлива

Вид топлива	Водород	Метанол	КПГ	СУГ	Аи-92 (неэтил)	Газодизельная смесь	Дизельное топливо	Аи-92 (этил)
$K_т$	1	2,2	2,6	3,8	4,3	6,3	10	10,5

ежесекундно требуется 5,2 млн м^3 чистого атмосферного воздуха ($КОА_{бенз}$ = 5,2·10^6 м^3/с).

Теперь для того, чтобы оценить экологический эффект от использования СУГ вместо бензина и газодизельной смеси вместо дизельного топлива, воспользуемся критерием экологической "приспособленности" топлива $K_т$ [6], позволяющим оценить вклад различных видов топлива в формирование экологической опасности отработавших газов автомобильных двигателей (табл. 6).

Используя данные табл. 5 и 6, оценим экологическую эффективность использования сжиженного углеводородного газа вместо бензина и компримированного природного газа в газодизельном цикле вместо дизельного топлива (рис. 1 и 2).

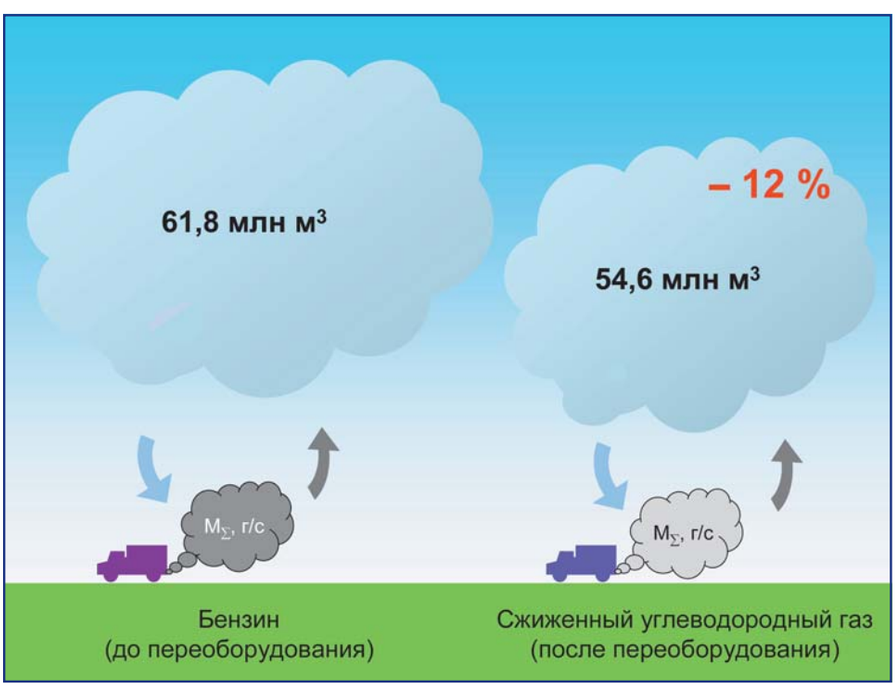


Рис. 1. *Количество воздуха, требуемого для рассеивания вредных веществ в отработавших газах 505 бензиновых автомобилей, переоборудованных для работы на сжиженном нефтяном газе в ООО "Газпром добыча Оренбург"*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:13

Color profile: Disabled
Composite Default screen

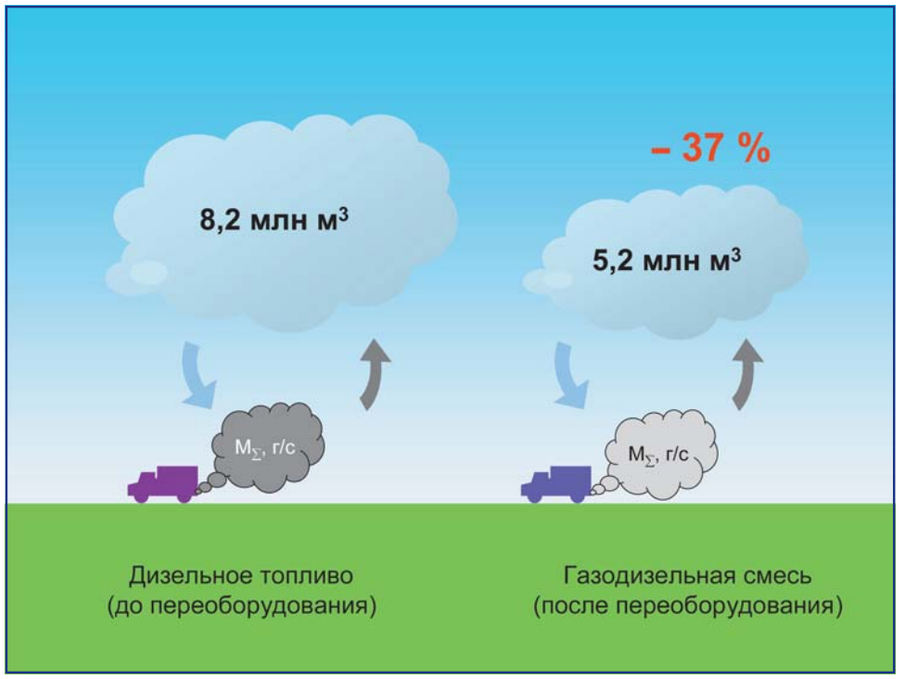


Рис. 2. *Количество воздуха, требуемого для рассеивания вредных веществ в отработавших газах 58 дизельных автомобилей, переоборудованных для работы по газодизельному циклу в ООО "Газпром добыча Оренбург"*

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что благодаря принятым в ООО "Газпром добыча Оренбург" мерам, направленным на расширение использования газа в качестве моторного топлива, и переводу автотранспортных средств на газомоторное топливо, улучшились на 12 % экологические характеристики автотранспортных средств, переведённых с бензина на СУГ, и на 37 % – автомобилей, переведенных для работы по газодизельному циклу. В абсолютном представлении совокупный экологический эффект использования газомоторного топлива в ООО "Газпром добыча Оренбург" условно можно оценить в 10,2 млн м^3 атмосферного воздуха ежесекундно сохраняемого "чистым".

Таким образом, в ООО "Газпром добыча Оренбург" предложен принципиально новый подход к оценке экологической опасности отработавших газов автомобильных двигателей, позволяющий количественно оценить и наглядно продемонстрировать экологическую эффективность от использования альтернативных видов моторного топлива на автомобильном транспорте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Луканин В.Н., Трофименко Ю.В., Луканин В.Н.** Промышленно-транспортная экология: учебник для вузов. М.: Высшая школа. 2001. 273 с.

2. **Кульчицкий А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов. Владимир: Владим. гос. ун-т., 2000. 256 с. (Высшее профессиональное образование).

3. **Цыцура А.А., Бондаренко Е.В., Дворников Г.П., Старокожева Е.А.** Комплексная оценка экологичности автомобиля // Академ. журнал Уральского межрегионального Отделения Российской Академии транспорта (УМО РАТ). 2001. № 3, 4. С. 74–78.

4. **Коротков М.В., Бондаренко Е.В., Кияев И.А.** Оценка экологической опасности выбросов вредных веществ с отработавшими газами большегрузных автомобилей с помощью компьютерной программы. Известия Самарского научного центра РАН. 2005. Спец. вып., Т. 2. С. 251–255.

5. **Природный** газ – моторное топливо XXI века. Природный газ в моторе? Вопросы и ответы / Е.Н. Пронин // Управление по газификации и использованию газа ОАО "Газпром": Альбом информационных материалов / сост. Е.Н. Пронин. М.: 2006. 60 с.

6. **Коротков М.В., Бондаренко Е.В., Филиппов А.А.** Оценка экологической опасности автомобиля, работающего на разных видах топлива // Автомобильная промышленность. 2004. № 4. С. 29–30.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:22

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК:629.063.2.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГАЗОМОТОРНЫМ ТОПЛИВОМ

И.М. Коклин, М.С. Потапенко (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина),
И.Ф. Маленкина (ООО "Газпром ВНИИГАЗ")

В статье изложены результаты комплексных исследований и приведены рекомендации по развитию систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом.

Ключевые слова: система газоснабжения, газомоторное топливо, автомобильная газонаполнительная компрессорная станция, экономическая и экологическая эффективность.

THE DEVELOPMENT OF GAS SUPPLY SYSTEMS FOR CONSUMER GAS MOTOR FUEL

Koklin I.M., Potapenko M.S., Malenkina I.F.

The article presents the results of comprehensive research and provides recommendations for the development of gas supply systems for consumer natural gas.

Keywords: gas, gas fuel, automobile gas-filling compressor station, economic and ecological efficiency.

Анализ работы системы газоснабжения автотранспортной и сельскохозяйственной техники в регионах страны показывает, что имеются значительные диспропорции в развитии инфраструктуры автогазонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), низкие загрузки мощности и отсутствие комплексных методик перевода автотракторной техники на газомоторное топливо.

Решение этой важной государственной задачи требует комплексного подхода в исследовании как единого процесса функционирования газозаправочного и газоиспользующего оборудования, оптимального проектирования, строительства, эксплуатации сетей газоснабжения с учетом потребностей перевода автомобильной техники на газомоторное топливо, с оптимизацией технических решений для получения максимально-возможной эффективности.

Цель работы – определение методов повышения эффективности работы систем газоснабжения за счет создания региональных систем обеспечения газомоторным топливом автотранспорта и сельхозтехники.

Для достижения поставленной цели в работе определены и решены следующие основные задачи исследования:

- выполнено обобщение и проведен анализ имеющегося опыта перевода автотранспорта и сельскохозяйственной техники на компримированный природный газ (КПГ) с целью разработки комплексного подхода к выбору направлений повышения эффективности эксплуатации региональных сетей газоснабжения;
- разработана методика проведения испытаний и проект регионального полигона для испытания и отладки технологий перевода автотракторной техники на КПГ;
- проведены экспериментальные исследования эксплуатационных характеристик работы газовых двигателей на компримированном природном газе и разработана методика организации технологии переоборудования автотракторной техники для работы на КПГ;
- разработаны научные основы создания регионально-районных систем газоснабжения автотракторной техники газомоторным топливом на основе комбинированной схемы газообеспечения АГНКС-ПАГЗ-ГРС. В процессе промышленного эксперимента отработан стационарно-передвижной режим заправки на газораспределительных станциях.

Поставленные задачи решались с использованием теории моделирования физических процессов и методов математического анализа. Эксперименты проведены на промышленных образцах тех-

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:23

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ники, а их результаты обработаны с применением методов математической статистики.

На основе теоретического обобщения работ отечественных и зарубежных ученых, результатов исследований автора, а также опыта эксплуатации АГНКС и автотранспортной техники, работающей на КПГ, исследована проблема развития систем газоснабжения для комплексного перевода автотранспорта и техники сельскохозяйственного назначения.

Разработана и внедрена схема газообеспечения АГНКС-ПАГЗ-ГРС, отработан стационарно-передвижной режим заправки на газораспределительной станции, предложена и обоснована комбинированная схема газоснабжения автотракторной техники на базе газораспределительных сетей поселковых, межпоселковых и магистральных газопроводов как элементов единой системы газоснабжения страны (ЕСГС).

Определены важнейшие из организационно-технических проблем и разработаны обоснованные решения по совершенствованию технологий перевода автотранспортной и сельскохозяйственной техники для использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива.

Практическая ценность работы состоит в создании методологии развития элементов газотранспортной сети для перевода автотранспортной отрасли и аграрно-промышленного комплекса страны на альтернативное топливо (сжатый природный газ), что значительно повышает экономическую и экологическую эффективность работы, как сети газоснабжения, так и автотранспортной техники в промышленности и сельском хозяйстве.

Выполненные разработки способствовали практической реализации технологий перевода на КПГ более 50 моделей автотранспортных средств (легковые, автобусы, специальные, грузовые, грузоподъемные) и тракторов, в том числе впервые – гусеничных тракторов.

Теоретические и практические результаты работы, кроме производственной сферы, используются при чтении лекций и выполнении курсовых и дипломных работ для студентов РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина на кафедре "Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение" и в Ставропольском государственном аграрном университете (СтГАУ) на кафедре "Тракторы и автомобили".

В рамках исследования выполнен анализ требований нормативных документов и современных технологий к комплексным системам снабжения транспортных средств ГМТ.

Проведено сравнение требований к моторным топливам для автотранспортных двигателей, определяющих энергетические свойства.

Автором описаны исследования современных подходов к использованию КПГ в регионах Российской Федерации, выполнен анализ регионального внутреннего рынка моторных топлив с учетом сельхозпотребителей на примере Владимирской области и Кочубеевского района Ставропольского края.

Выполненный анализ позволил определить цели и задачи развития сетей АГНКС на основе критериев максимальной прибыли, оптимального размещения, разработать методики организационно-технических решений, направленных на повышение эффективности использования ГМТ в регионах.

Показано, что в настоящее время единая система газоснабжения страны обеспечила условия для создания разветвленной сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций. Принципиальная схема газоснабжения автотракторной техники КПГ с использованием передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ) показана на рис. 1.

Представленная технологическая схема позволяет также использовать КПГ (в основном буферный) на газификацию малых поселков, фермерских хозяйств, полевых станов, сельхозпредприятий.

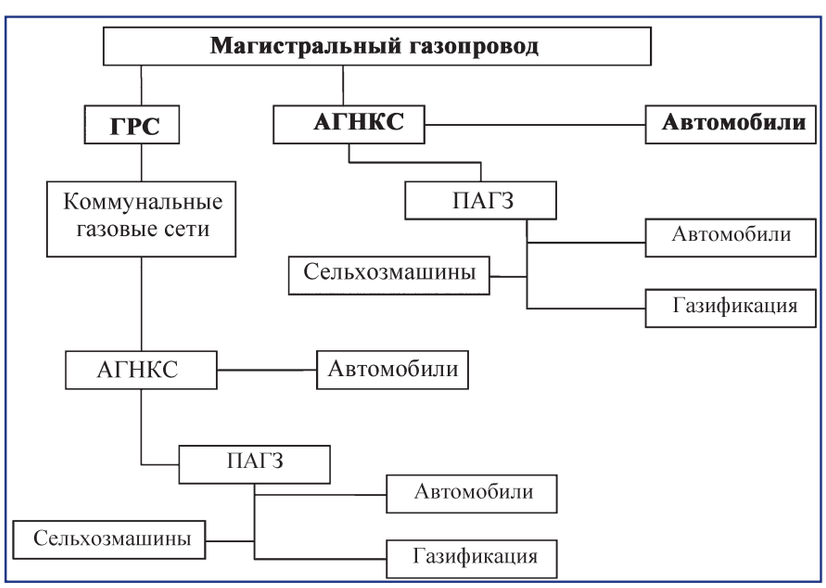


Рис. 1. *Принципиальная схема газоснабжения автотракторной техники*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:23

Color profile: Disabled
Composite Default screen

В работе исследовано влияние технических, технологических, экономических и организационных параметров обеспечения газомоторным топливом на повышение эффективности эксплуатации АГНКС.

При решении вопросов развития сети АГНКС необходимо учитывать, что она зависит от разных категорий потребителей. Автотранспортные предприятия эксплуатируют многочисленные модификации АТС (грузовые, легковые, автобусы, грузоподъемные и специальные), для которых важным требованием является минимальный холостой пробег для заправки как экономический критерий.

При решении вопросов развития сети АГНКС необходимо учитывать, что она зависит от разных категорий потребителей. Автотранспортные предприятия эксплуатируют многочисленные модификации АТС (грузовые, легковые, автобусы, грузоподъемные и специальные), для которых важным требованием является минимальный холостой пробег для заправки как экономический критерий.

Сельскохозяйственные потребители характеризуются спецификой видов работ, обеспечивающих аграрно-технические операции в растениеводстве и обслуживании животноводства. Поэтому необходимо решать задачу обеспечения эффективности АГНКС с условием эффективности автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники [1].

Эта задача решается и осуществляется по этапам с постоянным уточнением технико-экономических показателей (ТЭП).

Рассматривая систему заправки автотракторной техники сжатым природным газом, следует подчеркнуть, что к ней применимы все нормы и принципы проектирования систем АЗС с учетом специфики, вытекающей из физико-химических свойств КПГ, технологии подготовки, заправки и его транспортировки [2].

Функционально систему газоснабжения моторной техники можно представить как взаимосвязанные блоки: газозаправочного и использующего оборудования выражениями:

$$F = f(F_{ГЗ}, F_{ГИ}); \quad (1)$$

$$F_{ГЗ} = f(X_{ОО},\ X_{ВО},\ X_{Y},\ X_{А},\ X_{ЭЛ},\ X_{Б}); \quad (2)$$

$$F_{ГИ} = f(X_{А},\ X_{Б},\ X_{В}). \quad (3)$$

Применительно к проблеме развития системы обеспечения газомоторным топливом, автором использована методика размещения АЗС, разработанная отечественными учеными, сущность которой заключается в минимизации целевой функции Z, учитывая ограничения по рентабельности и пропускной способности АГНКС, выраженной функцией:

$$X_{K\,\min} \le X_K \le X_{K\,\max}. \quad (4)$$

Целевая функция представляет сумму эксплуатационных затрат, включая доставку топлива на АГНКС, реинновационные отчисления от стоимости сооружения и реконструкции АГНКС, а также потери на АГНКС от простоя автотранспорта и ТРК, выраженную через число заправок и потери автотранспорта от холостого пробега. По аналогии с АЗС также решается задача определения мощности АГНКС с учетом списочного количества автомашин населенного пункта в зоне строительства новой АГНКС.

Решение задачи выполнялось в два этапа.

На первом этапе определяются параметры целевой функции (5).

$$Z = \sum_{i=1}^{n} QN_i C_i + a_o N_i + \frac{b_o A_i}{N_i}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} N_i = S, \quad (6)$$

где N_i – число заправок в i-м пункте; C_i – стоимость перевозки тонны ГМТ до i-го пункта; S – суммарное число заправок на конец расчетного периода; a_o – расстояние холостого пробега; b_o – коэффициент выхода на линию; Q – объем потребляемого топлива. A_i – количество автотранспорта в i-м пункте на конец расчетного периода; n – число пунктов размещения АГНКС.

На втором этапе формировалась сеть возможных мест расположения АГНКС, выбираемых из условия

$$N_р > N_{\min}, \quad (7)$$

где $N_р$ – расчетное число заправок, рассчитываемое путем минимизации целевой функции Z; $N_{\min}$ – минимальное число заправок, при котором АЗС целесообразно сооружать.

Однако недостатком данной методики является произвольность выбора пункта возможного размещения АГНКС. Расчет загрузки по "пиковому" часу, как правило, завышает требуемую мощность станции, а включение в целевую функцию Z затрат в сфере автотранспорта на простои в ожидании заправки не отражает современных экономических отношений, а также специфику системы производства КПГ, включающую необходимость наличия магистральных газопроводов, сетей поселковых и межпоселковых, АГНКС и ПАГЗ.

Принцип проектирования сети АЗС, в соответствии с которым сначала произвольно выбирают

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:24

Color profile: Disabled
Composite Default screen

достаточно большое количество подходящих площадок, а затем отбирают те из них, которые оказались расположенными наиболее удачно для потребителей, недостаточен при проектировании АГНКС.

В этой связи в качестве критерия оптимальности размещения АГНКС используется экономическая эффективность использования КПГ для транспортного средства, заправляющегося на данной станции. Экономическая эффективность в расчете на один автомобиль определяется по формуле:

$$Э = Ц_а\left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right) + \frac{И_1 - И_2 + E_н(K_1' - K_2')}{P_2 + E_н}, \quad (8)$$

где $Ц_а$ – оптовая цена газобаллонного автомобиля; S_l, S_2 – фактическая производительность соответственно по базовому (нефтяное топливо) и расчетному варианту (метан); $И_1$, $И_2$ – годовые эксплуатационные издержки на один автомобиль (без учета отчислений на реновацию) соответственно по базовому и расчетному вариантам; K_1', K_2' – капитальные вложения на один автомобиль соответственно для базового и расчетного вариантов; P_2 – коэффициент реновации, обратный срок службы автомобиля; $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Необходимое среднесуточное число заправок $п_3$ для размещения АГНКС в зоне, где сформирована группа потребителей, определялось по формуле:

$$n_3 = \frac{A_n \alpha_n l_{сс}}{l_x}, \quad (9)$$

где A_n – списочное число автомобилей, оснащенных ГБО в шт.; α_n – коэффициент использования парка (α_n = 0,6–0,8); $l_{сс}$ – среднесуточный пробег базового автомобиля на КПГ в км; l_x – запас хода базового автомобиля на одной заправке в км.

Требуемое N_A количество АГНКС определялось по ее базовой пропускной способности в сутки $q_с$:

$$N_A = \frac{n_3}{q_с}. \quad (10)$$

Размещение ПАГЗ предполагалось в районах концентрации автотранспорта (АТП) и сельхозмашин на площадках при отсутствии стационарных АГНКС.

Для расчета количества ПАГЗ на расчетный год принималось средневзвешенное расстояние доставки $l_{ср}$ дополнительного количества газа $Q_Д$ от АГНКС до потребителя:

$$l_{ср} \frac{\sum l_i n_i}{\sum n_i}, \quad (11)$$

где l_i – расстояние доставки, км; n_i – количество ПАГЗ,

$$n_i = \frac{Q_r(l + t_{пр} m \beta_п v_Т) k_н}{T_н n_{см} q \beta_г v_Т k_и}, \quad (12)$$

где Q_r – годовой объем перевозок, т; l – расстояние перевозки, км; $t_{пр}$ – время простоя под погрузкой, разгрузкой и оформление документов за одну ездку, ч; m – число ездок с грузом (при $\beta_п$ = 0,5; 0,75; 1 m = 1; 1,5; 2 соответственно); $\beta_п$ – коэффициент использования пробега ($\beta_п$ = 0,5); $v_Т$ – средняя техническая скорость, км/ч ($v_Т$ = 36 км/ч); $k_н$ – коэффициент незавершенности перевозок ($k_н$ = 1,1); $T_н$ – годовой фонд времени пребывания автомобиля на линии ($T_н$ = 2019 час); $n_{см}$ – число смен работы автомобиля на линии ($n_{см}$ = 2); q – грузоподъемность автомобиля, т; $\beta_г$ – коэффициент использования грузоподъемности; $k_и$ – коэффициент использования автотранспортных средств ($k_и$ = 0,8).

Большая разнотипность газотопливных систем, используемых для семейства базовых двигателей, потребовала проведения сравнительных испытаний их надежности.

В работе для выбора наиболее качественного газобаллонного оборудования проведена обработка результатов сравнительных испытаний разнообразных газотопливных систем по показателям надежности и трудоемкости обслуживания. В частности, расчет надежности проведен по методике РД 50-690-89. При этом основными расчетными показателями являлись средняя наработка на отказ и наработка до цензурирования для газобаллонного оборудования (ГБО).

Проведена статистическая обработка эксплуатационных данных ГБО, используемого на различных предприятиях, по наработкам на отказ и до цензурирования, причем в качестве аппроксимирующей функции распределения выбрано двухпараметрическое распределение Вейбула–Гнеденко:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{t^{\beta}}{a}\right), & t > 0 \\ 0, & t \le 0 \end{cases} \quad (13)$$

определены начальные и уточненные оценки параметров выбранного распределения, на основе использования линеаризации эмпирической функции наблюдения подтверждена согласованность с видом функции распределения эксплуатационных данных по наработкам на отказ и до цензурирования со степенями соответствия R^2 = 0,96 и R^2 = 0,99 соответственно, получены плотности распределения времени работы до отказа (рис. 2) и до цензурирования (рис. 3).

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:24

Color profile: Disabled
Composite Default screen

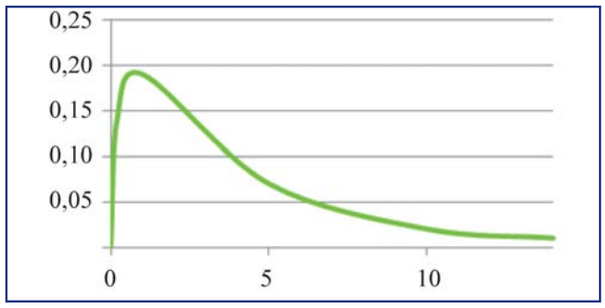


Рис. 2. *Функция плотности распределения времени работы до отказа* $f(t) = 0{,}23\ t^{0{,}21}\ exp\ (-t^{1{,}21}/5{,}17)$

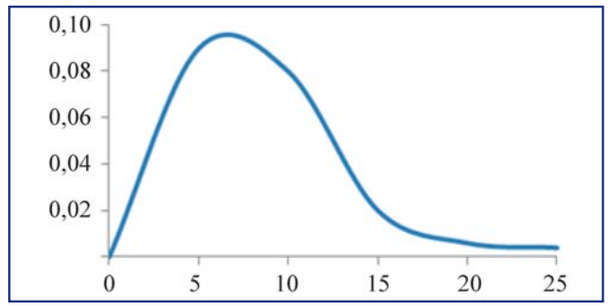


Рис. 3. *Функция плотности распределения времени работы до цензурирования* $f\ (t) = 0{,}04\ t^{0{,}76}\ exp\ (-t^{1{,}76}/44{,}86)$

Таблица 1

Расчетные данные по надежности ГБО

	Автосистема газ–бензин	РЗАА газ–бензин	САГА-7 газ–бензин	Мобильгаз Газодизель	Lovato газ–бензин
Средняя наработка на отказ, тыс. км. $\overline{L}$ (тыс. км.)	15,67	21,72	20,43	8,967	25,12
Коэффициент вариаций, v	0,758	0,68	0,727	0,399	0,728

Итоговые расчетные данные по надежности комплектов ГБО представлены в табл. 1.

При обработке первичных данных, полученных от опорных предприятий, были выведены следующие оценки затрат на текущий ремонт и регулировки для рассматриваемых комплектов ГБО, которые указаны в табл. 2.

Полученные расчетные данные (табл. 2), а также данные трудовых затрат на текущий ремонт и регулировки подтвердили, что наиболее надежно и менее трудоемко ГБО Рязанского завода автомобильной аппаратуры и фирмы Lovato.

Таблица 2

Трудовые затраты на текущий ремонт и регулировки ГБО

Газотопливные системы	Чел./ч на 100 авт. на 1000 км пробега, ч	Годовые затраты в чел./ч на 10 авт. при месячном пробеге 8 тыс. км
Автосистема "Газ–бензин"	4,37	42
РЗАА "Газ–бензин"	2,5	24
САГА-7 "Газ–бензин"	3,13	30
Мобильгаз "Газодизель"	20,83	200
Lovato "Газ–бензин"	1,9	18

С целью исследования эксплуатационных характеристик газового двигателя, его надежности, безопасности и экологичности под научным руководством автора в Невинномысском ЛПУМГ по технической документации, разработанной МАДИ (ТУ) и ООО "Газпромом ВНИИГАЗ" исследованы эксплуатационные характеристики автомобилей и тракторов, работающих на КПГ. В качестве экспериментального оборудования был использован конвертированный дизель КамАЗ 7408.10, установленный на автобусе А-4216.

Аналогичные испытания проведены с газовым двигателем зарубежного производства конвертированного дизеля RABA-MAN-2156, установленного на автобусе "Икарус-283" [3].

Показатели эксплуатационных исследований АТС, проведенных в Невинномысском ЛПУМГ совместно с МАДИ (ТУ) и ООО "Газпром ВНИИГАЗ", приведены в табл. 3.

Исследования, проведенные с целью определения надежности, эффективности функционирования, проведенные с целью определения надежности, эффективности функционирования газобаллонных систем автотранспортных средств, показали достаточную работоспособность систем и рекомендованы для промышленно-практического применения.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:29

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 3

Показатели эксплуатационных испытаний автобусов с газовыми двигателями Невинномысского ЛПУМГ

Марки	Показатели	Годы							
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
"Икарус-283"	Пробег, км	32250	6970	16987	20185	4390	1994	–	–
	Расход КПГ, м^3	14474	3489	8494	10992	2195	1689		
	Экономическая эффективность, руб.	99084	20138	45270	52170	74870	7809	–	–
ЛиАЗ (А4216)	Пробег, км	9599	14768	12800	15968	14500	15030	16865	13938
	Расход КПГ, м^3	4515	7384	6400	7984	7250	7508	6265	6969
	Экономическая эффективность, руб.	25453	47550	52900	49920	54200	48770	53918	25124

Таблица 4

Эффективность переоборудования тракторов для работы на компримированном газе (КПГ)

Показатели	Трактор		
	К-701	МТЗ-80/82	ДТ-75М
Капиталовложения на переоборудование (в ценах 2001–2002 гг.), тыс. руб.	83,7	61,1	40
Срок окупаемости (без учета заправочных средств), мес.	5	12	8

Также были исследованы эксплуатационно-технические характеристики трактора К-700А на тормозном стенде в Кубанском научно-исследовательском институте испытания тракторов и сельхозмашин (КубНИИТиМ) и в полевых условиях колхоза "Казьминский" и землях службы подсобного хозяйства и озеленения (ПСХиО) Невинномысского ЛПУМГ.

Исследования в газодизельном режиме трактора К-700А показали повышение производительности за час технологического времени на всех операциях от 3 до 11 % за счет увеличения мощности двигателя; снижение погектарного расхода топлива на 5–22 %, в том числе дизельного – на 31–42 %; общее снижение погектарного расхода топлива в стоимостном выражении составило – 11–25 % [4].

Эффективность газовой моторизации тракторов показана в табл. 4.

На полях колхоза "Казьминский" с целью сравнения результатов эксплуатации газодизельного трактора с дизельным проведены их испытания в параллельной работе. Результат приведен в табл. 5, 6.

Таблица 5

Результат параллельной работы тракторов

Газодизельный – ЛПУМГ				Дизельный – колхоза			Расходы на 1 га			На сколько часов хватает одной заправки газом	Выявленные замечания
Пахота				Пахота			Газодизельный		Дизельный (л)		
Время работы, ч	*S*, га	Расходы		Время работы, ч	*S*, га	Д.т. (л)	Д.т. (л)	Газ, м^3			
		Д.т. (л)	Газ, м^3								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	14,3	130	172	9	14,9	199	9,1	12,2	13,4	8	Не выявлено

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:29

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 6

Затраты топлива при обработке почвы (пахоты) газифицированных тракторов К-700А

Вид работы	Глубина обработки, (см)	Норма выработки, га/см	Расход дизтоплива, 1 га	Расход		Цена, руб.		Стоимость обработки 1 га, руб.	
				диз.т. (кг)	газ, м^3	диз.т. (кг)	газ, м^3	на диз. т	на газе
Пахота	18–20	12,8	18,7	4,7	14	6,0	3,15	112	72,3
Пахота	20–22	12,2	21,7	5,4	16,3	6,0	3,15	130	83,7

Испытания показали, что производительность газодизельного трактора выше дизельного более чем на 10 %, доля замещения дизельного топлива – 55 %, что соответствует данным испытания на тормозном стенде.

Важным явились испытания пилотных образцов газодизельных тракторов модели МТЗ 80/82 с целью определения технических параметров газоиспользующей аппаратуры.

Впервые в России разработана и смонтирована газобаллонная установка (ГБУ) на гусеничном тракторе ДТ-75Д в соответствии с документальной разработкой во ВНИИГАЗе, были проведены стендовые испытания, ведутся эксплуатационные наблюдения, определен положительный экологический эффект, выявлены результаты, позволяющие заводу-изготовителю разработать конструкцию трактора с учетом работы его на газовом топливе.

На основании выполненных исследований, эксплуатационно-технических характеристик отечественных марок тракторов разработано "Руководство по организации и проведению переоборудования тракторов для работы на компримированном природном газе" и выполнена научно-исследовательская работа по теме "Рекомендации и методические указания для подготовки и переподготовки механизаторских кадров и ИТР по эффективному использованию машинно-тракторных агрегатов (МТА) с двигателями, работающими на компримированном природном газе" [5].

Исследована эксплуатация малотоннажных газовых автомобилей с разными видами моторного топлива (бензин, СУГ, КПГ) в отдельно взятых предприятиях (Невинномысское ЛПУМГ, Карачаево-Черкескгаз).

Исследования показали, что эксплуатация автомобиля УАЗ-452 на КПГ в 1,25 раза дешевле, чем на пропан-бутане; в 2 раза дешевле, чем на бензине.

Исходя из полученных результатов экспериментов, определены потенциальные возможности газификации автомобильного транспорта в зоне обслуживания АГНКС в городах Невинномысск, Черкесск и селах Кочубеевского района.

Исследования обеспечивают технико-экономический анализ и комплексную оценку свойств газозаправочного и газоиспользующего оборудования в совокупности с особенностью функционирования сельхозтехники, позволяют разработать методику расчета объемов потребления КПГ в регионе и выполнить прогнозные расчеты развития парка техники, работающей на ГМТ, в региональнo-районном разрезе. Определены источники газоснабжения на примере Владимирской области и Кочубеевского района Ставропольского края.

На основе расчетов выполнен прогноз развития автотранспорта и сельскохозяйственной техники.

Из всех видов пассажирского транспорта первое место принадлежит автобусному транспорту, являющемуся основным в городах и сельской местности. Качественное изменение грузового автотранспорта выразилось в снижении средней грузоподъемности, большей специализации и дальнейшей дизелизации автопарка грузовых машин при сокращении объемов их выпуска. Парк грузовых автомобилей РФ составляет 5 167 849 ед. (2008 г.).

Удельный вес в структуре легкового транспорта более 75 % принадлежит индивидуальным владельцам. В целях прогнозирования количества легкового транспорта в главе использован способ логического модулирования численности населения, выполнена прогнозная оценка обеспеченности легковыми автомобилями жителей Владимирской области на период до 2020 г.

Изменение численности автомобильного парка по видам АТС должно прогнозироваться с учетом следующих факторов:

• для легкового автотранспорта – по изменению численности населения и уровню обеспеченности граждан легковым автотранспортом на 1000 чел.;

• для грузового автотранспорта – рост объема грузоперевозок или соответственно рост потребности в моторных топливах;

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:29

Color profile: Disabled
Composite Default screen

• для автобусного парка – рост объемов пассажироперевозок, связанных с изменением численности населения и увеличением автомашин в личном пользовании граждан;

• для сельскохозяйственной техники – увеличение производства сельскохозяйственной продукции.

Предложена методика оценки норм расхода моторных и газовых топлив с учетом дорожно-транспортных, климатических и других эксплуатационных факторов по видам автомобилей.

Для легковых автомобилей нормирующее значение расхода топлива рассчитывается по следующему соотношению:

$$Q_{н} = 0{,}01 \cdot H_s l_a (1 + 0{,}01 \cdot K_{п}), \qquad (14)$$

где $Q_{н}$ – нормативный расход топлива, литры; H_s – базовая норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км; l_a – пробег автомобиля, км; $K_{п}$ – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме в процентах.

Для бортовых грузовых автомобилей или автопоездов нормирующее значение расхода топлива рассчитывается по следующему соотношению:

$$Q_{н} = 0{,}01\{(H_s + H_g G_{пр}) l_a + H_w G_{гр} l_{гр}\} \times \times (1 + 0{,}01 K_{п}), \qquad (15)$$

где $Q_{н}$ – нормативный расход топлива, литры или м^3; H_s – базовая норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км или м^3/100 ткм; H_g – норма расхода топлива на дополнительную массу прицепа или полуприцепа, л/100 ткм или м^3/100 ткм; $G_{пр}$ – собственная масса прицепа или полуприцепа, т; l_a – пробег автомобиля, км; H_w – норма расхода топлива на транспортную работу, л/100 ткм или м^3/100 ткм; $G_{гр}$ – масса груза, т; $l_{гр}$ – пробег автомобиля с грузом, км; $K_{п}$ – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме в процентах.

Для автобусов нормируемое значение расхода топлива устанавливается аналогично легковым автомобилям:

$$Q_{н} = 0{,}01 H_s l_a (1 + 0{,}01 K_{п}) + H_{от} T, \qquad (16)$$

где $H_{от}$ – норма расхода топлива на работу штатных независимых отопителей, л/час; T – время работы автомобиля с включенным отопителем, час.

Для тракторов нормирующее значение расхода топлива рассчитывается по следующему соотношению:

$$Q_{н} = H_{т} T_{р} (1 + 0{,}01 K_{п}), \qquad (17)$$

где $H_{т}$ – базовая норма расхода топлива на работу трактора, л/час; $T_{р}$ – время работы трактора в году, час.

На основе структуры эксплуатационных расходов, принимая линейную аппроксимацию данных, получили зависимость эксплуатационных затрат АГНКС (рис. 4) З$_{э}$ (руб/год) от годовой реализации Q (м^3/год) в виде:

$$З_{э} = 282300 + 1{,}3798 \cdot Q. \qquad (18)$$

Предложенная методика расчета потребности в КПГ, определение основных источников для газоснабжения АГНКС является основополагающей в

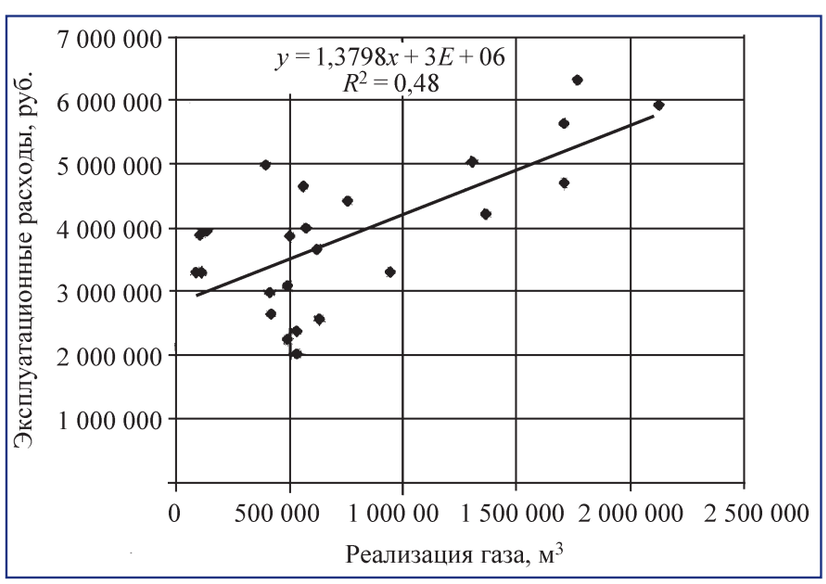


Рис. 4. *Зависимость эксплуатационных затрат АГНКС от годовой реализации КПГ*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:30

Color profile: Disabled
Composite Default screen

разработке научных основ развития региональных систем обеспечения газомоторным топливом.

Работы, выполненные в ряде научно-исследовательских учреждений, и в первую очередь ОАО "Газпром ВНИИГАЗ", подтверждают, что эффективность заправки автотракторной техники во многом зависит от схемы построения сети заправочных станций и их индивидуальной пропускной способности (мощности).

Для определения конфигурации сети газообеспечения техники, применяемой в сельскохозяйственном производстве, нами использованы критерии, введенные и описанные И.Ф. Маленкиной в монографии "Система обеспечения эффективного развития и эксплуатации сети метановых автозаправочных станций" (2005 г.). При этом автором введены новые критерии, такие как *Потенциальная емкость потребления компримированного природного газа,* характеризующая потребительскую возможность использования КПГ в качестве моторного топлива для автотранспортного сектора в рассматриваемом регионе. С учетом потенциального спроса на КПГ в сельскохозяйственном секторе экономики в работе предложены следующие дополнительные факторы, влияющие на расчет прогнозного спроса на КПГ, такие как: численная и структурная динамика регионального автомобильного парка и объемы транспортных перевозок.

Автором отмечено, что критерий $P_{\text{г.н.п.}}$ *территориальная плотность газифицированных населенных пунктов,* характеризующий уровень развития сетей газоснабжения и возможность развития рынка КПГ в регионе, и *уровень урбанизации* $У_р$ применимы для ранжирования субъектов РФ, не пригодны в части микроанализа, т.е. оценки и возможности сооружения АГНКС в населенных пунктах на территории отдельного района. В этом случае наиболее предпочтительным является использование показателей, "привязанных" к районам. К таким показателям следует отнести:

– максимальный потенциал реализации (КПГ) – J_Q,

$$J_Q = \sum_{i=l}^{K} \frac{H_{a_i} l_{\text{ср}_i}}{100} N_i K_r, \qquad (19)$$

где H_{a_i} – норма расхода топлива i-й группы АТС, нм^3/100 км; $l_{\text{ср}_i}$ – среднегодовой пробег АТС i-й группы, км; N_i – число АТС i-й группы; K_r – коэффициент газификации АТС;

– коэффициент удаленности от системы газоснабжения

$$K_{\text{у}} = \frac{0{,}5 l_{\text{З}}}{l_{\text{МГП}}}, \qquad (20)$$

где $l_{\text{З}}$ – пробег АТС на одной заправке КПГ, км; $l_{\text{МГП}}$ – расстояние от центра района области до ближайшего МГ, км.

При оценке эффективности проекта использован чистый приведенный доход (NPV):

$$NPV = \sum_{i=1}^{T} (R_i - З_i)\beta_{t_i} - K_A - K_{\text{ГБО}}, \qquad (21)$$

где R_i – результат в i-м году; $З_i$ – затраты в i-м году; β_{t_i} – коэффициент дисконтирования; K_A – стоимость АГНКС; $K_{\text{ГБО}}$ – стоимость газобаллонного оборудования.

Реализация газа на АГНКС Q в год:

$$Q = \sum V_{\text{З}} \frac{l_{\text{ср}}}{l_{\text{З}}} \gamma q_s \frac{S_{\text{об}}}{m}. \qquad (22)$$

Затраты на покупку газа $З_{\text{п}}$:

$$З_{\text{п}} = Q Ц_{\text{ГП}} \sum V_{\text{З}} \frac{l_{\text{ср}}}{l_{\text{З}}} \gamma q_s \frac{S_{\text{об}}}{m} Ц_{\text{ГП}}, \qquad (23)$$

где $Ц_{\text{ГП}}$ – цена закупки газа у ОАО "Газпром", руб./м^3; $V_{\text{з}}$ – объем заправки баллонов АТС, н.м^3; $l_{\text{ср}}$ – пробег АТС на одной заправке КПГ, км; V – доля АТС, переведенных на КПГ; q_s – плотность АТС, ед/км^2 ; $S_{\text{об}}$ – общая площадь зоны обслуживания АГНКС, км^2; m – число АГНКС.

При условии $R - З = \text{const}$ по годам расчетного периода уравнение чистой дисконтированной прибыли (ЧДП) для одной АГНКС имеет вид:

$$ЧДП_j = ((R0{,}82 - З_{\text{э}}) \cdot 0{,}66 - K_A \cdot \delta) \times \\ \times \sum \beta_t - K_A - \frac{K_{\text{ГБО}}}{m}, \qquad (24)$$

где R – выручка от реализации газа через АГНКС, руб; δ – коэффициент отчисления налогов на имущество (2,2 %); 0,66 – коэффициент, учитывающий налоговые отчисления на прибыль (34 %),

$$R = \gamma (Ц_{\text{ПР}} - Ц_{\text{ГП}}) \sum V_{\text{З}} \frac{l_{\text{ср}}}{l_{\text{З}}} q_s \frac{S_{\text{об}}}{m}. \qquad (25)$$

Суммируя по всем АГНКС, получим:

$$ЧДП = \sum_{j=1}^{m} ЧДП_j = \\ = \{((R0{,}82 - З_{\text{э}}) \cdot 0{,}66 - K_A \cdot \delta) \sum \beta_t\} - \\ - m K_A - K_{\text{ГБО}}. \qquad (26)$$

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:30

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Условием принятия проекта будет выполнение условия (34):

$$\text{ЧДП} \geq 0, \qquad (27)$$

при ограничении

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi m}} \leq \frac{l_з}{4}, \qquad (28)$$

где r – радиус зоны обслуживания АГНКС, км; S_p – площадь региона.

Эффективность перехода на газовое топливо техники для индивидуальных владельцев определяется такими факторами:

– срок окупаемости вложенных средств, включая сопутствующие затраты;

– удобство эксплуатации техники и его заправки.

Условие эффективного переоборудования автотракторной техники на работу на ГМТ выражается формулами:

$$\sum_{T_o} (Э_t - З_t)\beta_t - K \geq 0, \qquad (29)$$

$$З_t = З_l + З_у, \qquad (30)$$

где $Э_t$ – экономия затрат на топливо в t году; $З_t$ – дополнительные затраты при эксплуатации ГБА, включающие увеличение холостых пробегов на заправку на АГЗС или АГНКС по сравнению с АЗС; $З_у$ – затраты на установку ГБО; β – коэффициент дисконтирования; K – стоимость комплекта ГБО и его установки, руб.

Исходя из оценки объемов потребления КПГ, числа необходимых мобильных средств доставки КПГ для с/х техники в полевых условиях, количества рейсов ПАГЗ с оценкой удельных затрат на единицу техники для определения целесообразности переоборудования транспортных средств и создания средств заправки разработаны рекомендации по выбору мест расположения АГНКС на территории субъектов РФ с целью оптимального уплотнения существующей газозаправочной сети.

Для выбора мест размещения АГНКС использован метод поиска координат расположения станции (X_0, Y_0) по критерию минимального холостого пробега АТС и доставки ГМТ для сельхозмашин от мест дислокации с координатами (X_i, Y_i).

Расстояние от АГНКС до любого пункта определяется по формуле:

$$L_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)}. \qquad (31)$$

Суммарная транспортная работа всех АТС при пробеге на заправку из i пункта до АГНКС при потребности в газе Q_i, тыс. м^3 км/год,

$$A = \sum Q_i \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}. \qquad (32)$$

Оптимальные координаты X_0, Y_0 найдем из условия

$$\frac{\partial A}{\partial X_0} = 0; \ \frac{\partial A}{\partial Y_0} = 0. \qquad (33)$$

или

$$X_0 = \frac{\sum \frac{Q_i X_i}{L_i}}{\sum \frac{Q_i}{L_i}}; \ Y_0 = \frac{\sum \frac{Q_i Y_i}{L_i}}{\sum \frac{Q_i}{L_i}}. \qquad (34)$$

Координаты находятся методом последовательных приближений, принимая начальные значения равными средним по числу (K) рассматриваемых мест размещения АГНКС,

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{K}; \ Y_0 = \frac{\sum Y_i}{K}. \qquad (35)$$

Нами предложена методология для решения задачи развития региональной автозаправочной сети, для условий использования альтернативных видов топлива (СУГ, Биогаз) и базирования на разветвленной сети магистральных газопроводов в сочетании с существующими и проектируемыми поселковыми и межпоселковыми газопроводами.

Разработана принципиальная схема обеспечения сельскохозяйственных предприятий Кочубеевского района с использованием ПАГЗ и площадки ГРС представлена на рис. 5.

Для её практической реализации впервые разработана и внедрена схема газообеспечения – АГНКС-ПАГЗ-ГРС, отработан стационарно-передвижной режим заправки на газораспределительной станции. Схема позволяет рационально использовать газозаправочное оборудование, повысить производительность труда и загрузку эксплуатационного персонала.

Построение схемы основано на секционировании и кольцевании магистральных, межпоселковых и поселковых газопроводов с комплексом заправок (ПАГЗ, сжиженным природным, СНГ и др.).

Схема (рис. 6) предполагает комбинированный комплексный технологический подход, позволяющий:

– использовать существующие АГНКС;

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:31

Color profile: Disabled
Composite Default screen

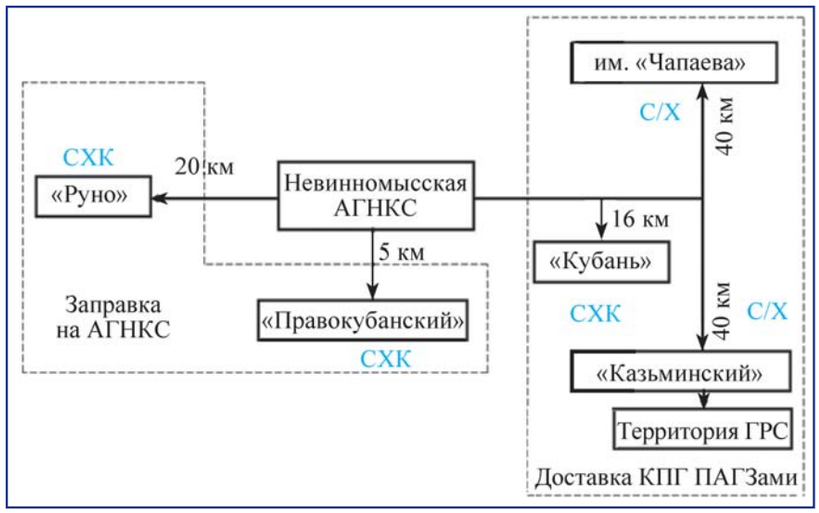


Рис. 5. Принципиальная схема доставки и заправки КПГ сельхозпредприятий Кочубеевского района Ставропольского края

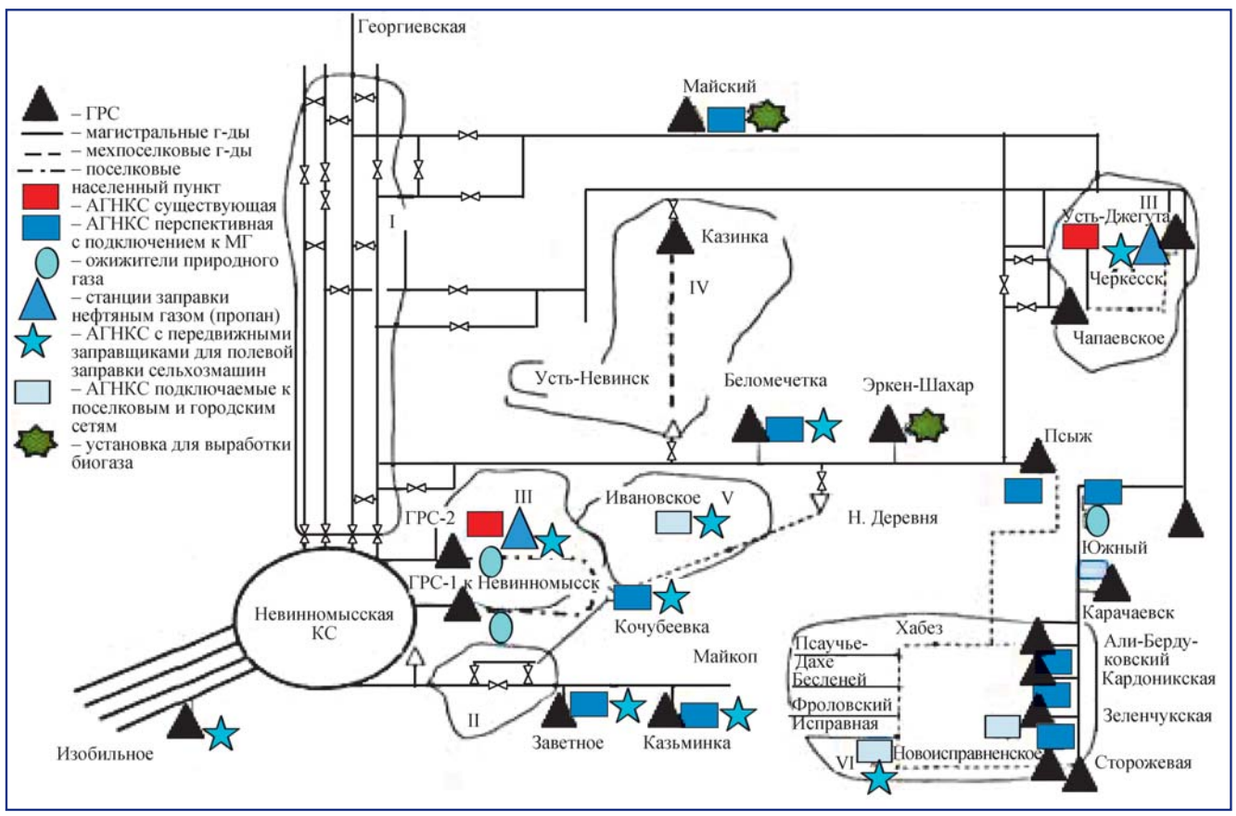


Рис. 6. Комбинированная схема газозаправок на базе Невинномысского газотранспортного узла

– осуществить привязку блочных АГНКС к магистральным газопроводам, размещая их на ПХГ, КС, ГРС, РЭП, что даёт существенную выгоду в загрузке газопроводов-отводов, в минимизации численности обслуживающего персонала на АГНКС (используется штатный персонал ГРС);

– используя научно-технические достижения в технологии сжиженного природного газа (СПГ), разместить ожижители газа на крупных ГРС;

– использовать опыт размещения газонаполнительных станций (ГНС) на существующих АГНКС в городах и районных центрах для обеспечения нефтяным сжиженным газом (НСГ) автомобилей и коммунально-бытовых нужд населения;

– осуществить размещение блочных мини-АГНКС в городах и населенных пунктах с подключением их к межпоселковым и поселковым сетям низкого давления (0,3; 0,6; 1,2 МПа);

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:52

Color profile: Disabled
Composite Default screen

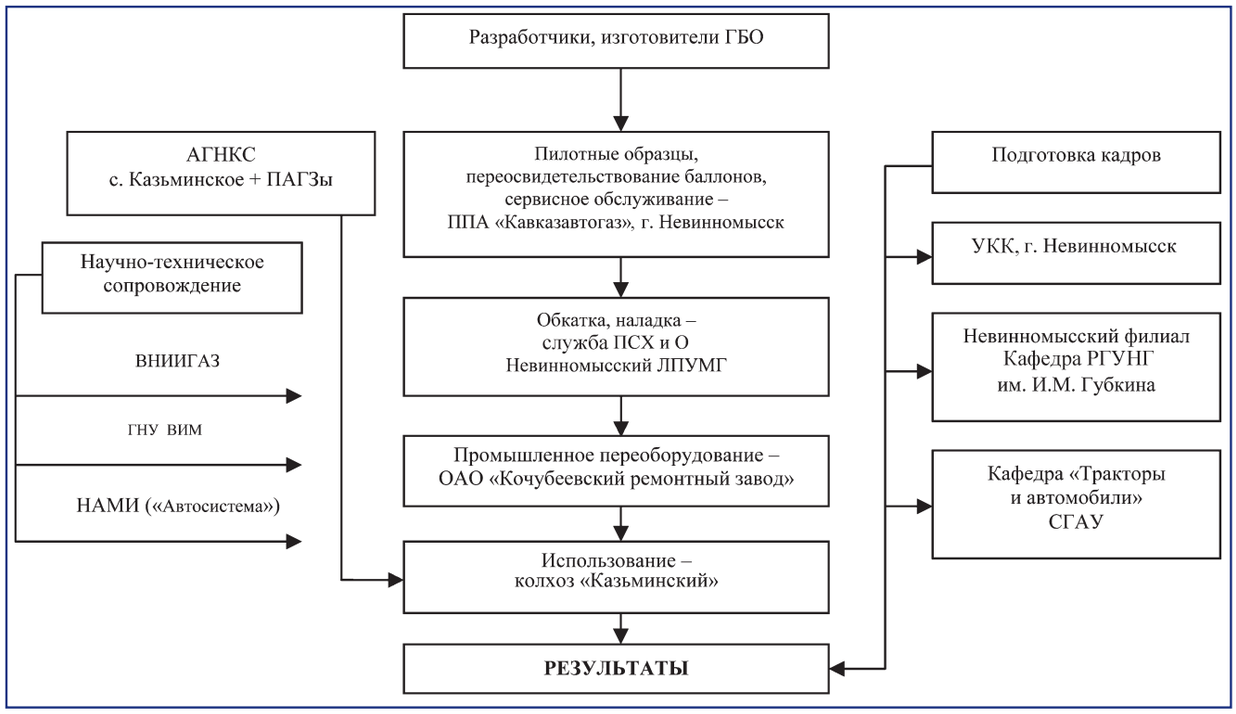


Рис. 7. *Состав участников и организационная структура полигона по внедрению оборудования по использованию КПГ в качестве моторного топлива для сельхозмашин на базе колхоза "Казьминский" Кочубеевского района Ставропольского края*

– использовать межпоселковые газопроводы и сети предприятий для подключения когенерационных установок для автономного электротеплоснабжения предприятий и населения;

– разработать технические требования для проектирования обеспечивающих комплексное решение загрузки газопроводов-отводов, в том числе и привязки на них АГНКС;

– разместить биогазовые установки на крупных сельхозпредприятиях, в первую очередь на птицефабриках;

– использовать передвижные газозаправщики для доставки газомоторного топлива для потребителей, удаленных от газовых сетей, и в первую очередь, для сельскохозяйственных, при этом используя схемы стационарно-передвижные, объездные, челночные и т.п.

Реализация предлагаемой схемы дает возможность надежно обеспечить газовым моторным топливом как автомобильный транспорт, так и сельскохозяйственный (тракторы, комбайны), железнодорожный (тепловозы), авиационный (самолеты).

Для обоснования и практического построения системы обеспечения ГМТ потребителей и в первую очередь сельхозпредприятий выполнено ТЭО регионального испытательного полигона по переоборудованию сельскохозяйственной техники на газ для образцов вторичного рынка и структура полигона, разработчиком которого является автор. Полигон создается на базе колхоза-племзавода "Казьминский" [6].

Функционально полигон предусматривает увязку организационно-технологической цепи: разработка и изготовление ГБО с последующим изготовлением пилотных образцов на пункте переоборудования "Кавказавтогаз" в г. Невинномысске, с передачей их на обкатку в службу сельского подсобного хозяйства и озеленения (ПСХ и О) Невинномысского ЛГГУМГ. Обкатанный и отлаженный образец техники передается в колхоз для эксплуатации. Промышленное (массовое) переоборудование тракторной техники с ГБО осуществляет ОАО "Кочубеевский ремонтный завод" на договорных условиях с колхозом.

Газозаправочную функцию осуществляет "Кавказавтогаз" – филиал ООО "Газпром трансгаз Ставрополь", используя в комплексе АГНКС в селе Казьминское и полевые ПАГЗы.

Научно-техническое сопровождение функционирования полигона осуществляют ООО "Газпром ВНИИГАЗ", "Автосистема", НАТИ, ГНУ ВИМ и ООО "Газпром трансгаз Ставрополь". Координацию функционирования полигона осуществляет Невинномысский филиал кафедр РГУ нефти и газа.

Участники проекта и организационная структура проведения работ представлены на схеме (рис. 7).

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:52

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Учитывая расположение отделений колхоза в населенных пунктах (Гусаровское, Благодарное, Вревское) и количество тракторной техники, определены среднесуточные объемы потребляемого газа и рассчитано число ПАГЗ, определены маршруты доставки КПГ.

Выполнена оценка снижения вредных загрязняющих веществ (ЗВ) и предотвращенного экологического ущерба. Расчеты показывают высокую экологическую эффективность предлагаемых мероприятий. В результате замены 365 единиц АТС, работающих на ЖМТ, на КПГ выбросы в атмосферу от выхлопных газов могут быть сокращены приблизительно на 63 %.

Экономия от замещения нефтяного топлива составляет более 20,1 млн руб. в год, с учетом экологического фактора – 25,8 млн руб. в год.

Организация полигона позволяет повысить эффективность и конкурентоспособность главной задачи АПК Российской Федерации.

Выводы

Природный газ – универсальный, перспективный энергоноситель, использование его в качестве моторного топлива решает важные экономические, экологические и социальные проблемы.

Анализ работы сети газоснабжения автотракторной техники в регионах показал малую ее эффективность.

Доказано, что перевод автотранспортной и сельскохозяйственной техники на ГМТ представляет реальную решаемую задачу в краткие сроки.

На базе действующей сети разработана методология комплексного развития систем обеспечения ГМТ, как элемента ЕСГ страны.

Показано, что комбинированная схема на основе ГРС и передвижных средств, способна увеличить загрузку АГНКС более чем на 10 %.

Разработанная комплексная схема АГНКС-ПАГЗ-ГРС, позволяет наиболее эффективно решать проблемы перевода автотракторной техники на ГМТ.

Наряду с доставкой ГМТ в сельхозпредприятия, схема позволяет организовать газоснабжение малонаселенных пунктов, удаленных от газовых сетей.

Разработана методика по совершенствованию технологии перевода автотракторной техники на КПГ.

Предложена концепция испытательного полигона для перевода сельхозтехники на ГМТ.

Доказана эффективность использования КПГ в регионах. Работа развивает важное направление науки по снижению потребления топливно-энергетических ресурсов в РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коклин И.М., Ресть О.А., Прохоров А.Д.** Село – стратегически перспективный потребитель газомоторного топлива // Международный научно-технический журнал – Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо (АГЗК+АТ). 2009. № 2 (44). С. 23–30.

2. **Прохоров А.Д.** Системы оптимизации и распределения нефтепродуктов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 1999.

3. **Коклин И.М., Прохоров А.Д., Хачиян А.С.** Эксплуатационные испытания автотранспортных средств на газомоторном топливе: Материалы заседания секции "Распределение и использование газа" Научно-технического совета ОАО "Газпром" (г. Сочи, 21–23 мая 2008 г.). М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2008. 68 с.

4. **Коклин И.М.** Опыт эксплуатации газобаллонных тракторов. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2000.. № 7. С. 16–17.

5. **Коклин И.М., Савельев Г.С., Подосинников В.В., Шапкайц А.Д., Кауров Е.Т., Лобанов Н.Л., Лагашкин М.И.** Руководство по организации и проведению переоборудования тракторов для работы на компримированном природном газе ВРД 39-1.20-019-2000. М.: ВНИИГаз, 2000. 78 с.

6. **Коклин И.М., Маленкина И.Ф., Тимофеев В.В.** Технико-экономическое обоснование создания испытательного полигона для сельскохозяйственной техники, работающей на природном газе // Международный научно-технический журнал "Транспорт на альтернативном топливе". 2011. № 1. С. 30–33.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:53

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 662.6/7

ДИМЕТИЛОВЫЙ ЭФИР (ДМЭ) КАК ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТА

Ю.В. Черняховская, канд. экон. наук, РЭА,
С.В. Юданов, канд. экон. наук, МАДИ

Необходимость дополнения ископаемых источников топлива для транспорта возобновляемыми, снижения выбросов парниковых газов и другие факторы побуждают производителей топлив, транспортных средств, общественные организации и государственные учреждения активнее включаться в работу по нахождению альтернатив традиционным топливам, их сравнительной оценке и подготовке к внедрению в практику.

Ключевые слова: дизельное топливо, биотопливо, генераторный газ, автобус, грузовик.

DIMETHYL ETHER (DME) AS A FUEL FOR MOTOR VEHICLES

Chernyakhovskaya Yu.V., Yudanov S.V.

The need to supplement fossil fuels with renewable fuels for transport, reducing greenhouse gas emissions and other factors induce producers of fuels, vehicles , community organizations and government agencies actively involved in the work on finding alternatives to traditional fuels, their comparative assessment and preparation for implementation in practice.

Keywords: diesel, bio-fuel, gas generator, bus, truck.

Для многих эта тематика (ДМЭ) относительно нова, поэтому на сегодняшний день подходы к этой работе часто не отличаются систематичностью и дальновидностью. Иногда краткосрочные критерии сравнительных оценок предпочитаются долгосрочным, как, например, в случае кажущейся привлекательности перехода на синтетическое дизельное топливо, не требующее изменений конструкции транспортных средств или оборудования заправочных станций. Аналитикам государственного значения приходится работать в условиях лоббистских давлений со стороны бизнеса, преследующего узконаправленные или краткосрочные цели. Выбрав стратегически важные критерии сравнения и собрав в едином анализе наиболее широко дискутируемые альтернативы, можно в частности наблюдать широту разброса параметров (см. рис. 1, *а* также рис.1, *в* [1]), саму по себе отражающую факт того, что многие топлива и способы их получения предлагаются не в целях достижения максимальной пользы для общества как целого. Без сомнения, одним из основных отражающих такую пользу критериев является суммарная энергетическая эффективность *E* всего цикла конверсии энергии, от исходных ее затрат на производство сырья и топлива из него и до получения транспортной или иной механической работы. Очевидно также, что величина *E* для экономики в целом не менее важна чем КПД самих двигателей, являющийся неотъемлемой частью *E*.

Из рассмотрения графика на рис. 1, где на оси абсцисс фактически отложена *E*, можно видеть, в частности, что большинство топлив заметно различаются между собой по этому параметру. Насколько же существенны эти различия? Здесь можно провести параллели с известными реалиями транспортного сектора. Первое. Дизель полностью вытеснил бензиновый двигатель из коммерческого транспорта на суше и на море, несмотря на свою бо́льшую сложность и стои-

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:55:53

Color profile: Disabled
Composite Default screen

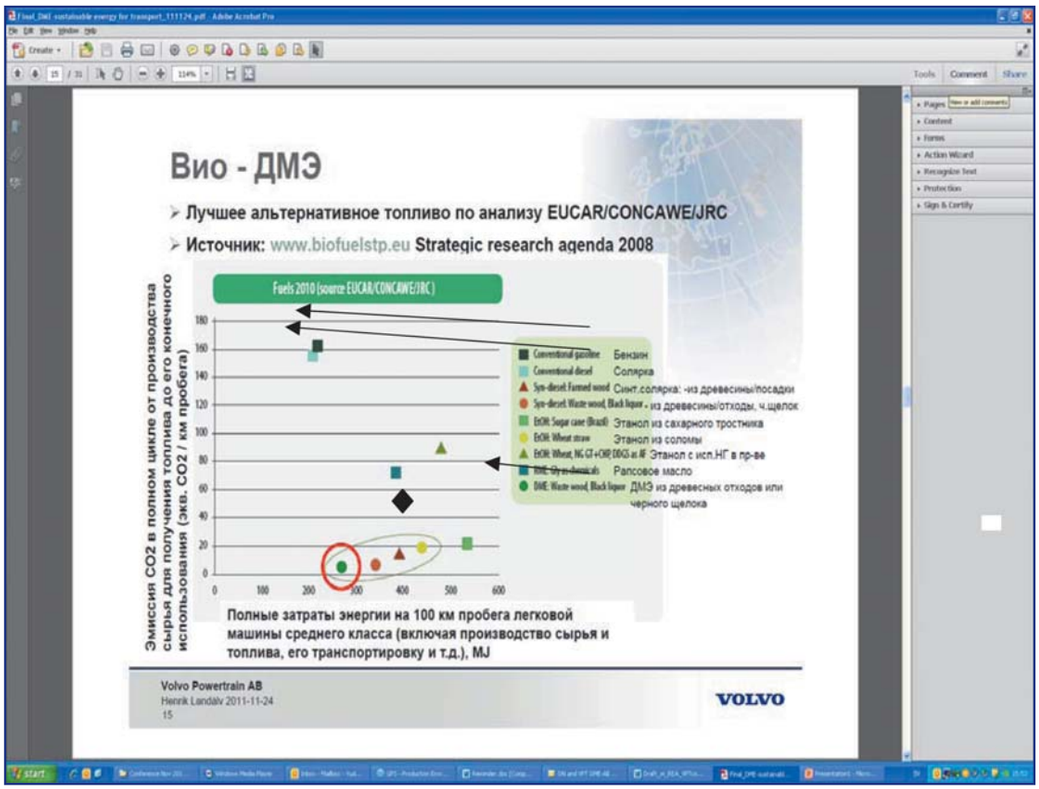


Рис. 1. *Сравнение топлив по суммарной энергетической эффективности и эквивалентным выбросам* CO_2

мость, в основном благодаря на 20–30 % лучшему КПД. Второе. Городской автобус с 25–35 % лучшим по общему расходу топлива КПД (как в случае применения гибридной силовой установки) оценивается западными покупателями на 30–40 % выше. И третье. На 5 % лучшая топливная экономичность является грандиозным конкурентным преимуществом на западном рынке тяжелых грузовиков, где затраты на топливо намного выше чем у городских автобусов.

В свете этих примеров лучшее в сравнении по рис. 1 альтернативное топливо (диметилэфир из черного щелока) просто недосягаемо для всех остальных конкурентов, включая самое ближайшее из них – синтетическое дизельное биотопливо (СДТ) из ЧЩ, имеющее по крайней мере на 20 % худшую *E*. Необходимо отметить, что эта разница определяется большей эффективностью процесса синтеза ДМЭ из генераторного газа по сравнению с синтезом СДТ из того же генераторного газа, и как следствие она остается той же самой при сравнении ДМЭ и СДТ, получаемых из ископаемого углеводородного сырья, например, природного газа. Как следующий этап он интересен, поэтому необходим более детальный сравнительный анализ, включающий рассмотрение остальных существенных для общества и экономики факторов. Результаты такого анализа, выполненного специалистами Volvo Trucks с использованием данных из независимых уважаемых источников и на основании собственного практического опыта разработки автомобилей для питания всеми возможными альтернативными топливами, приведены на рис. 2 в форме пятибалльной системы оценок. Из рассмотрения рис. 2 также можно сделать вывод о большой перспективности ДМЭ.

Естественен вопрос – почему в списке рассматриваемых альтернатив присутствуют те, что по результатам анализов выглядят очевидными аутсайдерами? Одна из причин заключается в том, что в некоторых странах/регионах или уже

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:04

Color profile: Disabled
Composite Default screen

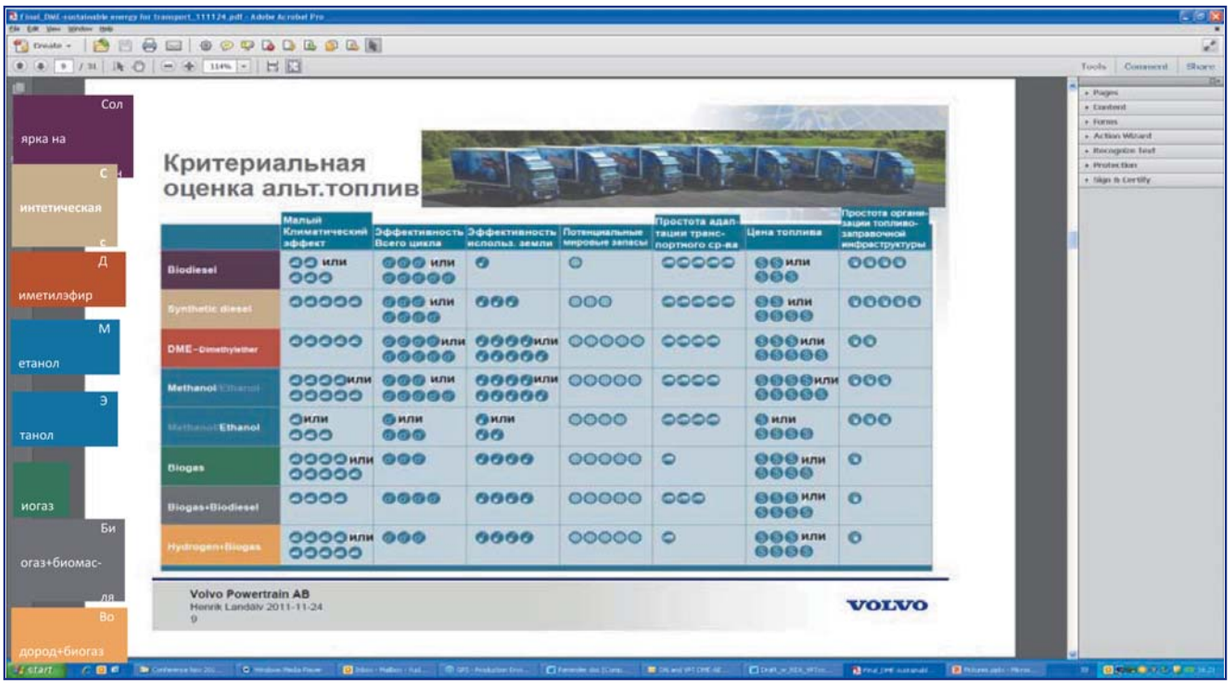


Рис. 2. Критериальная оценка топлив

имеются установленные производства не самых лучших альтернативных топлив и соответствующие мощные корпоративно-политические интересы, или отсутствуют удобные природные и иные условия для внедрения лучших вариантов. Интересна поэтому и оценка российских условий по перспективам производства ДМЭ и био-ДМЭ и использования его как транспортного топлива, тем более что интерес к нему в мире – в частности, со стороны морских транспортных компаний – существенно растет.

Говоря о возможностях производства ДМЭ в России, мы не будем останавливаться на чрезвычайно интересной в перспективе цепочке природный газ–метанол–ДМЭ, а рассмотрим возобновляемые источники. И в первую очередь, конечно, тот из них, что при культивации дает жизнь огромному разнообразию видов животных и растений через основополагающий для всего живого на Земле процесс естественного фотосинтеза – лес.

Российский лесопромышленный комплекс пока еще далек от самых современных производств в своей эффективности, что, вкупе с неосвоенностью территорий, отсутствием дорог и прочими факторами ограничивает освоение расчетной лесосеки (а это 600 млн м^3 годового объема добычи древесины, не приводящего к истощению запасов леса) ее четвертью. При этом из леса не вывозятся ни отходы лесосеки, ни неделовая древесина, а отходы деревообрабатывающих производств используются лучшими из них только на 30 %. Общее количество теряемой таким образом древесной биомассы, принимая что 30 % отходов используется всеми предприятиями деревообработки, оценивается в 140 млн т в год. Даже не считая неиспользуемые ресурсы высококачественной биомассы в виде черного щелока, которые представляются огромными, а также, не учитывая на 40 % лучшую эффективность переработки древесной биомассы в топливо по включающим черный щелок технологиям, переработка всей теряемой в России древесной биомассы в ДМЭ, по самым скромным подсчетам (используя ее наименьшее энергосодержание – как у сосновой щепы при 30%-й влажности), обеспечила бы топливом около 430 тыс. тяжелых грузовиков в год. Для сравнения, общее количество проданных в 2011 г. в Европе и Северной Америке новых тяжелых грузовиков со-

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:14

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ставило приблизительно 450 тыс. Поэтому можно утверждать, что внедрение ДМЭ в российских условиях весьма привлекательно и в коммерческом (переработка теряемых сейчас отходов в прибыльный и, в будущем, экспортно-значимый продукт), и в социальном (создание новых высокотехнологичных производств и рабочих мест, причем в основном в отдаленных регионах) планах, не говоря уже об экологии. Использование био-ДМЭ как топлива, как отмечалось, снижает суммарные выбросы CO_2 на 95 % по сравнению с соляркой и позволяет относительно легко обеспечить надежное выполнение норм "Евро-5" по суммарным выбросам с ОГ и "Евро-6" по твердым частицам. Интересным свойством является также менее неблагоприятный вектор изменения вредных выбросов с износом/поломкой топливной аппаратуры. Если в случае солярки это ведет к быстрому и часто катастрофическому увеличению дымности ОГ двигателей без чувствительного ухудшения экономичности, то при использовании ДМЭ одной из первых пострадает экономичность, тогда как дымность не увеличится вообще, а большее количество CO легко преобразуется простым окислительным нейтрализатором. Таким образом, плохое техническое состояние транспортного средства будет бить в первую очередь по карману его собственника, а не по здоровью окружающих.

Переходя от перспектив производства ДМЭ как топлива в России к его использованию, нельзя не отметить, что применение ДМЭ для решения экологических проблем больших городов уже задумывалось и успешно испытывалось [2]. В 2005 г. были подтверждены возможности российских организаций по конструированию, производству и эксплуатации автомобилей на ДМЭ, а также использования базы пропан-бутановых заправочных станций. Развитие инфраструктуры заправок является одним из ключевых вопросов для распространения ДМЭ. На первом этапе эта задача может быть легче решаема в системе городского общественного транспорта, а также в производственно-территориальных кластерах на основе, к примеру, лесозаготовительных предприятий на востоке России.

Вопрос наличия транспортных ДМЭ-технологий за пределами России частично освещен в [1] на примере проекта био-ДМЭ. В настоящее время в Швеции коммерчески эксплуатируются девять тяжелых ДМЭ-грузовиков Volvo, как в отдаленных северных районах страны, так и на юге. На время написания статьи общий пробег составлял 290 тыс. км; самый длинный пробег отдельной машины составлял 84 тыс. км. Параметры машин с точки зрения потребителя по меньшей мере не хуже, чем у стандартных грузовиков, за исключением пробега на одной заправке которая пока ограничена примерно 800 км при полной загрузке. Демонстрируются хорошие возможности достижения достаточной износостойкости. Система конструировалась с особенным вниманием к безопасности, в том числе в случае возникновения неисправностей. Одной из иллюстраций результата является возможность нормального использования грузовика даже при появлении трещины носика распылителя по всей длине седла с обеих сторон, что подтверждено испытаниями. Это достигается использованием специальных форсунок аккумуляторной ТА, имеющих функцию разгрузки распылителя. Она также оборудована автоматическими изоляционными клапанами от давления топлива в баке, так что за все время эксплуатации ни разу не возникало проблем, связанных с возможными утечками, что обычно считается слабым звеном ДМЭ-систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Юданов С.В.** Перспективы использования альтернативных автомобильных топлив: Сборник научных трудов МАДИ, М., 2014.

2. **Смирнова Т.Н.** Опыт разработки и эксплуатации автомобилей-рефрижераторов ЗИЛ-5301, работающих на ДМЭ – к докладу на конференции "Альтернативные источники энергии для транспорта и энергетики больших городов", ФГУП НИИД, М., 2005.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:14

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 621.43.068.4.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА И СОПОСТАВЛЕНИЕ С УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ТОПЛИВАМИ

М.С. Ассад, канд. техн. наук, Барановичский государственный университет (Республика Беларусь)

Рассмотрен водород в качестве альтернативного топлива для автотранспортных средств. Проведены исследования топливно-воздушных смесей на основе водорода и пропана.

Ключевые слова: водород, пропан, давление, двигатель.

A STUDY OF CERTAIN FEATURES OF HYDROGEN COMBUSTION AND COMPARISON WITH HYDROCARBON FUELS

Assad M.S.

Considered hydrogen as an alternative fuel for motor vehicles. Investigations of the combustion of fuel-air mixtures based on hydrogen and propane.

Keywords: hydrogen, propane, pressure, engine.

Одним из альтернативных моторных топлив является водород, интерес к которому как моторному топливу обусловлен рядом его особенностей: высокая массовая теплота сгорания, почти в 3 раза превышающая теплоту сгорания углеводородного топлива и составляющая 120,1 МДж/кг, широкие концентрационные пределы воспламенения в диапазоне коэффициента избытка окислителя (воздуха) от $\alpha = 0{,}15$ до $\alpha = 10$, отсутствие окислов углерода в продуктах сгорания и, главное, практически неисчерпаемая сырьевая база [1–4]. При этом водород имеет некоторые недостатки, которые создают определенные проблемы на пути к его применению в двигателях внутреннего сгорания, в частности для автомобильного транспорта. Это, прежде всего, низкая объемная теплота сгорания горючей смеси, которая составляет 71,22 МДж/кмоль, что примерно на 16 % ниже, чем у бензина; повышенное содержание окислов азота NO_x в продуктах сгорания вследствие более высокой температуры горения; вопросы, связанные с аккумулированием и хранением на транспортном средстве и др.

По физико-химическим и моторным свойствам водород сильно отличается от углеводородных топлив, что приведет к некоторым изменениям протекания рабочего процесса в случае его применения в качестве топлива в двигателях.

Окисление водорода с воздухом характеризуются высокой скоростью горения, которая почти на порядок превышает скорость горения углеводородных топлив, вследствие чего повышается интенсивность нарастания давления в замкнутом объеме –цилиндре двигателя. Последняя, как известно, определяет жесткость рабочего процесса при сгорании, повышение которой вызывает нежелательные в работе двигателя (особенно дизеля) явления: высокий уровень шума, значительные динамические нагрузки на подшипники и детали кривошипно-шатунного механизма.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:14

Color profile: Disabled
Composite Default screen

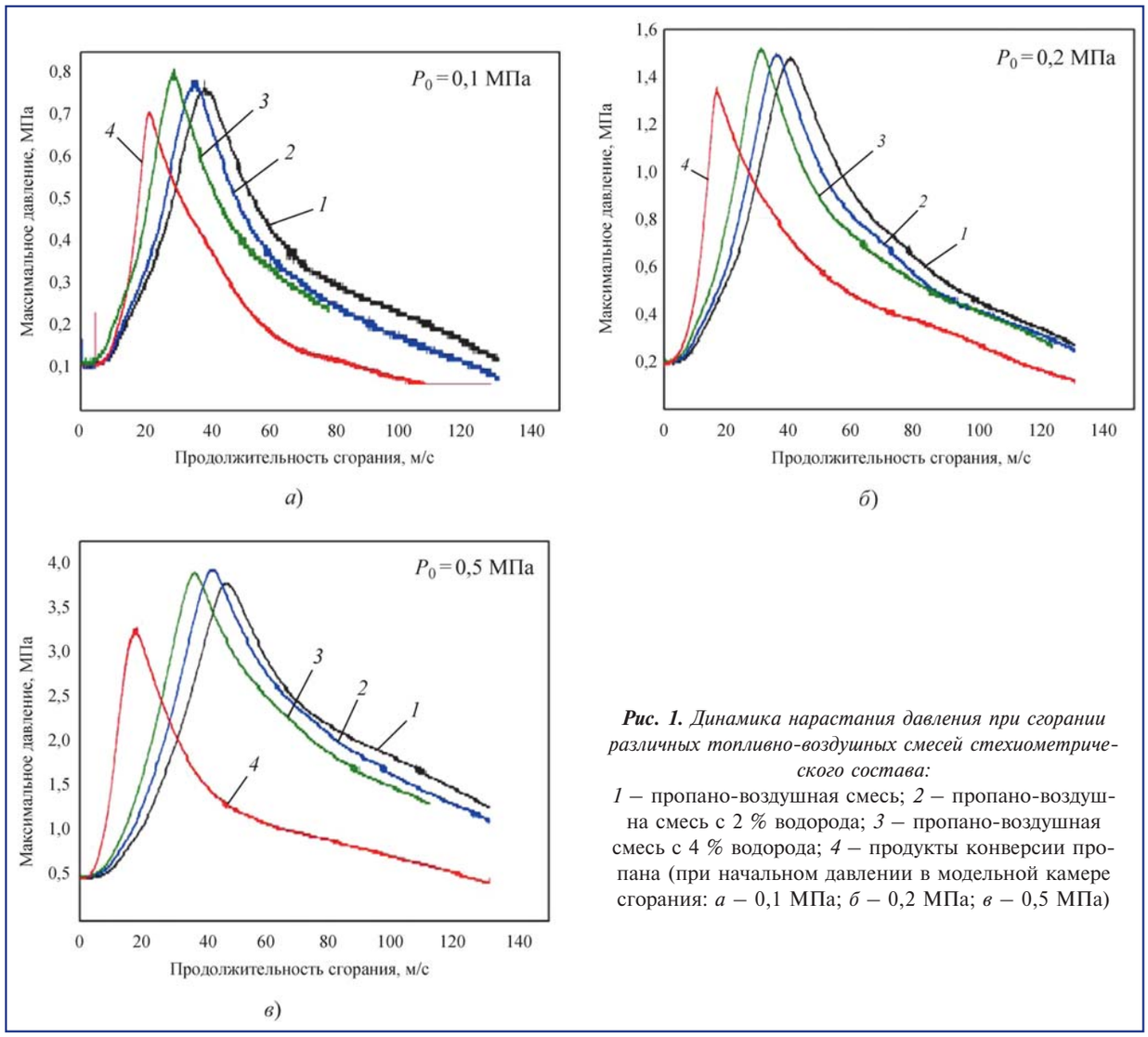


Рис. 1. *Динамика нарастания давления при сгорании различных топливно-воздушных смесей стехиометрического состава:*
1 – пропано-воздушная смесь; *2* – пропано-воздушна смесь с 2 % водорода; *3* – пропано-воздушная смесь с 4 % водорода; *4* – продукты конверсии пропана (при начальном давлении в модельной камере сгорания: *а* – 0,1 МПа; *б* – 0,2 МПа; *в* – 0,5 МПа)

Таким образом, конверсия двигателей внутреннего сгорания на водород требует всестороннего изучения процесса сгорания – основы рабочего процесса. Целью данной работы явилось исследование некоторых особенностей горения водорода и сопоставление их с углеводородными топливами.

Эксперименты проводились в прозрачной модельной камере сгорания цилиндрической формы, изготовленной для визуализации процесса сгорания. Инициирование воспламенения смеси производилось с помощью свечи зажигания, установленной в цилиндрической стенке модельной камеры сгорания. В ходе экспериментов фиксировались два параметра: максимальное давление, развиваемое в камере при сгорании, и продолжительность сгорания смеси от момента зажигания до момента достижения максимального давления.

Исследованные топливно-воздушные смеси стехиометрического состава приведены в таблице.

Из рис. 1, где приведены характерные зависимости изменения давления в модельной камере сгорания от продолжительности сгорания для исследованных топливно-воздушных смесей при различных значениях начального давления, видно, что скорость нарастания давления в камере сгорания повышается пропорционально увеличению концентрации водорода в смеси. Так, для пропано-воздушной смеси, моделирующей традиционное углеводородное топливо,

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:36

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Топливно-воздушные смеси, использованные в экспериментах

Топливно-воздушная смесь	Химическая формула	Начальное давление, МПа
Пропан + воздух (смесь 1)	$C_3H_8 + 5O_2 + 18{,}81N_2$	0,1–1
Пропан + 2% водорода + воздух (смесь 2)	$C_3H_8 + 0{,}51H_2 + 5{,}26O_2 + 19{,}76N_2$	0,03–1
Пропан + 4% водорода + воздух (смесь 3)	$C_3H_8 + 1{,}1H_2 + 5{,}54O_2 + 20{,}85N_2$	0,024–0,9
Продукты конверсии пропана + воздух (смесь 4)	$C0 + 1{,}33H_2 + 1{,}17O_2 + 6{,}27N_2$	0,1–1
Водород + воздух (смесь 5)	$H_2 + 0{,}5O_2 + 1{,}88N_2$	0,02–1

при начальных давлениях 0,1, 0,2 и 0,5 МПа (рис. 1, *а–в*) скорость нарастания давления составляет 18,75, 35,24 и 78,12 МПа·с$^{-1}$ соответственно (кривая *1*). Добавление 2 % водорода в эту смесь приводит к увеличению скорости нарастания давления в 1,1–1,16 раза (кривая *2*), а 4 % – примерно в 1,35–1,40 раза (кривая *3*). Сгорание продуктов конверсии пропана с воздухом, где объемное содержание водорода в смеси стехиометрического состава составляет почти 14 %, сопровождается повышением скорости нарастания давления примерно в 1,82–2,3 раза (кривая *4*).

Повышение начального давления усиливает эффект водорода в плане увеличения скорости нарастания давления при сгорании. Так, увеличение начального давления с 0,1 до 0,2 МПа (рис. 1, *б*) дает прибавку в интенсивности нарастания давления пропано-воздушной (кривая *1*) в 1,88 раза, пропано-воздушной смеси с 2%-ной добавкой водорода (кривая *2*) – в 1,90 раза, пропано-воздушной смеси с 4%-ной добавкой водорода (кривая *3*) – в 1,92 раза, а продуктов конверсии пропана (кривая *4*) – почти в 2 раза. При возрастании начального давления до 0,5 МПа (рис. 1, *в*) скорость нарастания давления возрастает соответственно в 4,16 (кривая *1*), 4,42 (кривая *2*), 4,66 (кривая *3*) и 5,22 (кривая *4*) раза.

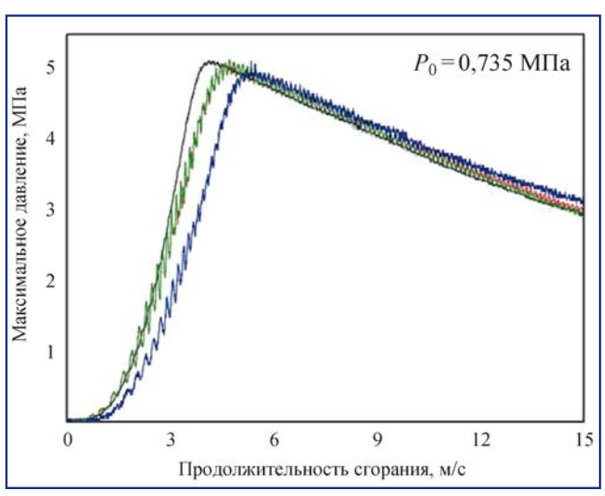


Рис. 2. *Динамика нарастания давления при сгорании водородно-воздушной смеси стехиометрического составав (при начальном давлении в модельной камере сгорания 0,735 МПа)*

Наибольшая скорость нарастания давления наблюдается при сгорании водородно-воздушной смеси (рис. 2). Так, при начальном давлении 0,735 МПа максимальное давление достигает значения 5,2 МПа, что почти в 8 раз выше, чем для пропано-воздушной смеси, при этом скоростью нарастания составляет около 1250 МПа·с$^{-1}$.

В реальном двигателе значения скорости нарастания давления значительно выше указанных величин вследствие турбулентного характера процесса сгорания. Кроме того, в дизелях максимальное давление и скорость нарастания давления при сгорании выше, чем в двигателях с принудительным воспламенением, что связано с высокой скоростью тепловыделения вблизи начала сгорания и около ВМТ. Поэтому организация процесса смесеобразования и сгорания в дизельных двигателях, работающих на водороде, требует большего внимания в целях обеспечения приемлемой скорости нарастания давления и строгого ограничения максимального давления в цилиндре, чрезмерное увеличение которых понижает моторесурс двигателя.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:40

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таким образом, увеличение концентрации водорода в топливно-воздушной смеси и повышение начального давления, моделирующего давление в завершающей стадии такта сжатия в двигателе перед воспламенением, приводят к интенсивному ускорению нарастания давления в модельной камере сгорания, которое объясняется, главным образом, высокой скоростью сгорания с одновременным повышением максимального давления. Это означает, что, при неправильной организации рабочего процесса двигателей, работающих на водороде, индикаторный КПД в результате сложного взаимодействия указанных факторов будет, по-видимому ниже, чем в двигателях с применением углеводородного топлива.

Анализ полученных данных показывает (рис. 1 и 2), что с увеличением концентрации водорода продолжительность сгорания уменьшается, и, следовательно, увеличивается скорость сгорания как показатель обратный продолжительности. Так, в сравнении с модельной пропано-воздушной смесью при начальных давлениях в камере сгорания 0,1; 0,2 и 0,5 МПа пропано-воздушная смесь с 2%-ной добавкой водорода сгорает быстрее примерно в 1,1–1,2 раза, с 4%-ной добавкой водорода – почти в 1,35 – 1,5 раза, продукты конверсии – почти в 2,5 раза, а водородно-воздушная смесь – почти в 10 раз. При этом максимальное давление, развиваемое в процессе сгорания смеси, также возрастает почти до 40 % в зависимости от концентрации водорода, за исключением смеси продуктов конверсии пропана с воздухом, максимальное давление которой падает с увеличением начального давления в камере сгорания в среднем на 10–15 %.

Таким образом, добавление водорода в углеводородное топливо приводит к существенному ускорению процесса сгорания топливно-воздушной смеси, которое может компенсировать снижение скорости сгорания при работе двигателя на бедных смесях. Достижение приемлемой (достаточно высокой) скорости сгорания бедных смесей является важным фактором при работе автомобильных двигателей на этих смесях в условиях городской эксплуатации.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. С увеличением концентрации водорода в топливно-воздушной смеси повышается скорость нарастания давления, которая находится в прямой зависимости от скорости сгорания и величины максимального давления, развиваемого в камере сгорания. На интенсивность нарастания давления большое влияние также оказывает величина начального давления в камере сгорания. В двигателях, работающих на водороде, скорость нарастания давления в камере сгорания может достигать вблизи смеси стехиометрического состава несколько тысяч МПа·с$^{-1}$.

2. Добавление водорода в углеводородное топливо значительно ускоряет процесс сгорания топливно-воздушной смеси, а в случае водорода с воздухом смесь сгорает примерно в 10 раз быстрее, чем смеси углеводородного топлива с воздухом. Данный эффект может быть использован при работе двигателей на бедных смесях в условиях городской эксплуатации транспортных средств.

3. Для обеспечения правильной организации и нормального протекания рабочего процесса двигателя, работающего на водороде (или с добавками водорода), необходимо проводить серьезные теоретическую и экспериментальную работы по оптимизации основных характеристик процесса сгорания: скорости нарастания давления, скорости сгорания, величины развиваемого в камере максимального давления, а также степени обеднения топливно-воздушной смеси, существенно влияющих на основные показатели работы двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Agbossou K., Chahine R., Hamelin J., Laurencelle F., Anouar A., St-Arnaud J.-M., Bose T.K.** Renewable energy systems based on hydrogen for remote applications // J. of Power Sources. 2001. Vol. 96. P. 168–172.

2. **Berry G.D., Pasternak A.D., Rambach G.D., Smith J.R., and Schock R.N.** Hydrogen as a future transportation fuel // Energy. 1996. Vol. 21. No. 4. P. 289–303.

3. **Терентьев Г.А., Тюков В.М., Смаль Ф.В.** Моторные топлива из альтернативных моторных сырьевых ресурсов. М.: Химия, 1989. 272 с.

4. **Щетинков Е.С.** Физика горения газов. М.: Наука, 1965. 740 с.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:41

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 665.633

МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

Д.В. Казаков, д-р техн. наук, **Е.Н. Кущева,** канд. техн. наук,
Л.И. Кугрышева, канд. техн. наук, Невинномысский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВПО СКФУ

Предложен метод контроля энергетических параметров мобильных энергетических средств бестормозным способом, основанный на оценке их динамических качеств.

Ключевые слова: диагностика, контроль параметров, мощность, переходный процесс.

CONTROL METHOD OF TECHNICAL CONDITION OF THE MOBILE THE POWER MEANS WORKING AT ALTERNATIVE TYPES OF FUEL

Kazakov D.V., Kushcheva E.N., Kugrysheva L.I.

The control method of power parameters of mobile power means without brake way based on an assessment of their dynamic qualities is offered.

Keywords: diagnostics, control of parameters, power, transition process.

На современном этапе развития альтернативных видов топлива и применения их в различных отраслях промышленности актуальной становится задача определения параметров работы мобильных энергетических средств (МЭС), а также последующий контроль их параметров технического состояния.

Одним из направлений решения энергетических и экологических проблем является расширение использования газомоторного топлива на сельскохозяйственном транспорте [1] и в сфере грузоперевозок [2]. Перевод дизелей на газомоторное топливо приведет к изменению энергетических показателей МЭС, соответственно изменятся их тяговые возможности. Проблему постановки энергетических показателей под контроль обычно пытаются решить с помощью типовых тяговых характеристик. Однако они не охватывают всего многообразия дорожных (почвенных) условий и, кроме того, энергетические параметры в процессе эксплуатации изменяются из-за изменения технического состояния, поэтому появляется необходимость контролировать данные параметры в процессе всего срока эксплуатации МЭС.

К энергетическим параметрам МЭС относится комплекс зависимостей тяговой мощности, скорости движения, буксования, массового и удельного расхода топлива, числа оборотов коленвала двигателя МЭС и тягового усилия [3].

Для решения поставленной задачи был разработан бестормозной метод контроля технического состояния мобильных энергетических средств работающих на альтернативных видах топлива. В данном методе МЭС разгоняется с

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:41

Color profile: Disabled
Composite Default screen

устойчивой минимальной скорости равномерного прямолинейного движения, до максимальной скорости равномерного прямолинейного движения. Двигатель МЭС максимально быстро переводится в состояние разгона коленчатого вала путем резкого изменения подачи топлива до максимальных значений [4]. При разгоне МЭС одновременно измеряются угловые ускорения ε_1 коленчатого вала двигателя (ведущего колеса) и ε_2 путеизмерительного колеса (ведомого колеса), на заданной передаче и необходимом дорожном покрытии (почвенном фоне), получают закономерности изменения углового ускорения $\varepsilon_1 = f(t), \varepsilon_2 = f(t)$.

При движении агрегата (МЭС в составе с агрегатируемой машиной или прицепом) на горизонтальном участке уравнение его движения имеет вид [5, 6]

$$M_{\text{МЭС}} \frac{d\text{v}}{dt} = P_{\text{дв}} - P_f - P_{\text{тяг}},$$

где $\frac{d\text{v}}{dt}$ – линейное ускорение МЭС, м/с²; $M_{\text{МЭС}}$ – приведенная масса МЭС, кг; $P_{\text{дв}}$ – движущая сила МЭС, кН; P_f – сила сопротивления перекатыванию, кН; $P_{\text{тяг}}$ – сила тяги на сцепном устройстве МЭС, кН; $P_j = M_{\text{МЭС}}\left(\frac{d\text{v}}{dt}\right)$ – результирующая сила инерции равная сумме активных сил и реакций связи в движущейся механической системе приложенная в центре тяжести МЭС.

Согласно принципу Д'Аламбера сила инерции в данный момент характеризует то тяговое усилие, которое может развить МЭС, т.е.

$$P_{\text{тяг}} = M_{\text{МЭС}} \frac{d\text{v}}{dt}, \text{ кН.} \quad (1)$$

Полное соответствие силы инерции возможному тяговому усилию будет наблюдаться, если линия тяги проходит через центр тяжести МЭС. При других направлениях линий тяги происходит перераспределение вертикальных реакций на движителе, что может вызвать изменение сопротивления перекатыванию.

Теоретическую скорость v_m МЭС, на данной передаче, определяем из выражения

$$\text{v}_m = \omega_1 r_{\text{к}}, \text{ м/с},$$

где ω_1 – угловая скорость ведущего колеса, с⁻¹; $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущего колеса, м,

$$\omega_1 = \frac{\omega}{i_1}, \text{ с}^{-1},$$

где i_1 – передаточное отношение между шестерней, против которой установлен первичный преобразователь (ПП) и ведущим колесом МЭС; ω – угловая скорость шестерни, против которой установлен ПП, с⁻¹.

Действительную скорость $\text{v}_{\text{д}}$ МЭС, на данной передаче, определяем из выражения

$$\text{v}_{\text{д}} = \frac{\omega_2}{i_2} R_{\text{к}}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где ω_2 – угловая скорость путеизмерительного колеса (ведомого колеса), с⁻¹; i_2 – передаточное отношение между шестерней, против которой установлен ПП и путеизмерительным колесом; $R_{\text{к}}$ – радиус качения путеизмерительного колеса, м.

Буксование МЭС определяется по значениям теоретической $\text{v}_{\text{т}}$ и действительной $\text{v}_{\text{д}}$ скоростей:

$$\delta = \frac{\text{v}_{\text{т}} - \text{v}_{\text{д}}}{\text{v}_{\text{т}}} \cdot 100 \ \%,$$

а ускорение $\frac{d\text{v}}{dt}$ МЭС в каждый момент времени – закономерностью изменения углового ускорения ведомого (путеизмерительного) колеса, $\varepsilon_2 = f(t)$, тогда

$$\left(\frac{d\text{v}}{dt}\right) = \left(\frac{d\omega_2}{dt}\right) \cdot R_{\text{к}}, \text{ м/с}^2,$$

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:41

Color profile: Disabled
Composite Default screen

где $\frac{d\omega_2}{dt} = \varepsilon_2$ – угловое ускорение ведомого (путеизмерительного) колеса, с$^{-2}$.

Приведенная масса МЭС $M_{МЭС}$ определяется из выражения

$$M_{МЭС} = M\psi, \text{ кг},$$

где M – эксплуатационная масса МЭС, кг; ψ – коэффициент учета вращающихся масс на данной передаче.

Тяговая мощность на заданной передаче рассчитывается с учетом формул (1) и (2):

$$N_{тяг} = P_{тяг} v_д, \text{ кВт}.$$

Подавляющее большинство технологических операций во время использования МЭС, выполняется при положении рычага управления регулятором топливного насоса в положении, ограниченном болтом максимальных оборотов [7]. В этом случае цикловая подача $G_ц$ топливного насоса во время разгона МЭС, при выполнении технологических операций или на стенде для регулировки топливных насосов зависит только от одного параметра – частоты вращения его вала, которая в два раза меньше частоты вращения коленчатого вала двигателя. Данная зависимость может быть получена на стенде для испытания дизельной топливной аппаратуры. При наличии этих данных цикловая подача топливного насоса пересчитывается в массовый расход топлива $G_т$ на заданном типе дорожного покрытия (почвенном фоне) и необходимой передаче при различной частоте вращения коленчатого вала или скорости движения МЭС:

$$G_т = \frac{60 G_ц n_н \rho_т}{k_ц}, \text{ кг/ч},$$

где $n_н$ – частота вращения вала насоса, об/мин; $\rho_т$ – плотность топлива, кг/м^3; $k_ц$ – количество циклов, за которое измерялась цикловая подача топливного насоса.

Удельный расход топлива на данной передаче определяется из выражения

$$g = 1000 \frac{G_т}{N_{тяг}}, \text{ г/кВт·ч}.$$

Предлагаемым методом решается задача определения энергетических параметров МЭС в эксплуатационных условиях с использованием различных видов альтернативных топлив, в результате чего упрощается процесс измерения, снижается трудоемкость. Отпадает потребность использовать для испытаний и диагностики громоздких тормозных стендов и тяговых лабораторий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов А.С., Чикишев Е.М., Анисимов И.А.** Обоснование перевода зерноуборочного комбайна на газовое топливо // Газовая промышленность. 2014. № 10 (713). С. 104–106.

2. **Батыршин Р.** Автомобили "КАМАЗ", работающие на КПГ, перспективы развития в сельском хозяйстве // Автозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 12 (81). С. 29–33.

3. **Лихачев В.С.** Испытания тракторов. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1974. 288 с.

4. **Чичиланов И.И., Арженовский А.Г., Асатурян С.В.** Методика и результаты диагностирования тракторных дизелей с ГТН // Вестник Орел ГАУ. 2012. № 5 (38). С. 167–170.

5. **Иофинов С.А. и др.** Эксплуатация машинно-тракторного парка. 2-е изд. М.: Колос, 1984. С. 9–38.

6. **Щетинин Н.В.** Метод определения сопротивления рабочих машин // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Процессы и машины агроинженерных систем. Технические науки. 2004. Прил. № 1. С. 90–94.

7. **Кривенко П.М., Федосов И.М.** Дизельная топливная аппаратура. М.: Колос, 1970. 536 с.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:42

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 543.27

СОВРЕМЕННЫЕ СЕНСОРЫ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОГАЗОЗАПРАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Бузановский, д-р техн. наук, ЗАО "Компания Безопасность"

Представлены результаты разработок наносенсоров паров сжиженного нефтяного газа. Проведена систематизация указанных устройств и проанализированы их метрологические характеристики. Показана пригодность газонаносенсоров (ГНС) для обеспечения взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования.

Ключевые слова: сенсор, нанотехнология, сжиженный нефтяной газ, взрывопожарная безопасность.

MODERN SENSORS FOR FIRE-EXPLOSION SAFITY OF AUTO GAS REFUELING EQUIPMENT

Buzanovskii V.A.

Development results of nanosensors of liquefied petroleum gas vapors are presented. Systematization of these devices is carried out and their metrological characteristics are analyzed. The ability of nanosensors to ensure fire-explosion safety of auto gas refueling equipment is shown.

Keywords: sensor, nanotechnology, liquefied petroleum gas, fire-explosion safety.

Попутный нефтяной газ представляет собой смесь углеводородных и неуглеводородных соединений, растворенных в нефти или находящихся в "шапках" нефтяных (газоконденсатных) месторождений. В отличие от природного газа, содержащего от 92 до 98 % метана, в состав этого газа входит значительное количество пропана, *n*-бутана и *i*-бутана (табл. 1).

На газоперерабатывающих заводах из попутного нефтяного газа получают топливный газ (преимущественно состоящий из метана и этана), сжиженный нефтяной газ (смесь пропана, *n*-бутана, *i*-бутана) и газовый бензин (изомеры пентана, гексана и других углеводородов). Далее сжиженный нефтяной газ поступает к потребителям, в частности на предприятия автогазозаправочного комплекса.

Применение сжиженного нефтяного газа неразрывно связано с вопросами обеспечения взрывопожарной безопасности (табл. 2). Эффективное решение указанных вопросов может быть достигнуто путем внедрения автоматических (автоматизированных) систем, оснащенных измерительными преобразователями паров сжиженного нефтяного газа в воздухе рабочей зоны.

Одним из направлений создания названных преобразователей является разработка газовых наносенсоров (ГНС) – измерительных устройств, основанных на использовании нанотехнологий и в большинстве случаев характеризующихся низкой материалоемкостью, энергопотреблением, стоимостью. Несмотря на то, что данное направление приборостроения развивается лишь в течение по-

Таблица 1

Примерный состав попутного нефтяного газа

Наименование компонента	Содержание, %	Наименование компонента	Содержание, %
Метан	58,38–81,42	*i*-бутан	1,42–4,14
Этан	5,32–7,85	*n*-гептан	0,60–2,44
Пропан	6,44–13,76	*i*-гептан	0,83–2,72
n-бутан	2,43–6,96	Другие компоненты	Менее 24,58

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:42

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таблица 2

Показатели взрывопожарной опасности основных компонентов сжиженного нефтяного газа [ГОСТ Р 51330.19–99 (МЭК 60079–20–96)]

Компонент	Нижний концентрационный предел распространения пламени, %	Температура самовоспламенения, °С
Пропан	1,7	470
n-бутан	1,4	372
i-бутан	1,3	460

следних 10–15 лет, к настоящему времени разработано довольно большое число ГНС, различающихся как применяемыми методами измерений, так и используемыми материалами, технологией их изготовления, морфологией и т.д. Это обстоятельство обусловливает необходимость систематизации разработанных устройств.

Цель настоящей статьи состоит в попытке:

- систематизировать созданные ГНС паров сжиженного нефтяного газа;
- оценить метрологические характеристики этих устройств;
- проанализировать возможность их применения в системах взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования.

Предварительный анализ конструкционных особенностей ГНС паров сжиженного нефтяного газа позволяет разделить данные устройства на два класса (см. рисунок) – ГНС с чувствительными элементами на основе:

- оксида металла (класс 1);
- полимера (класс 2).

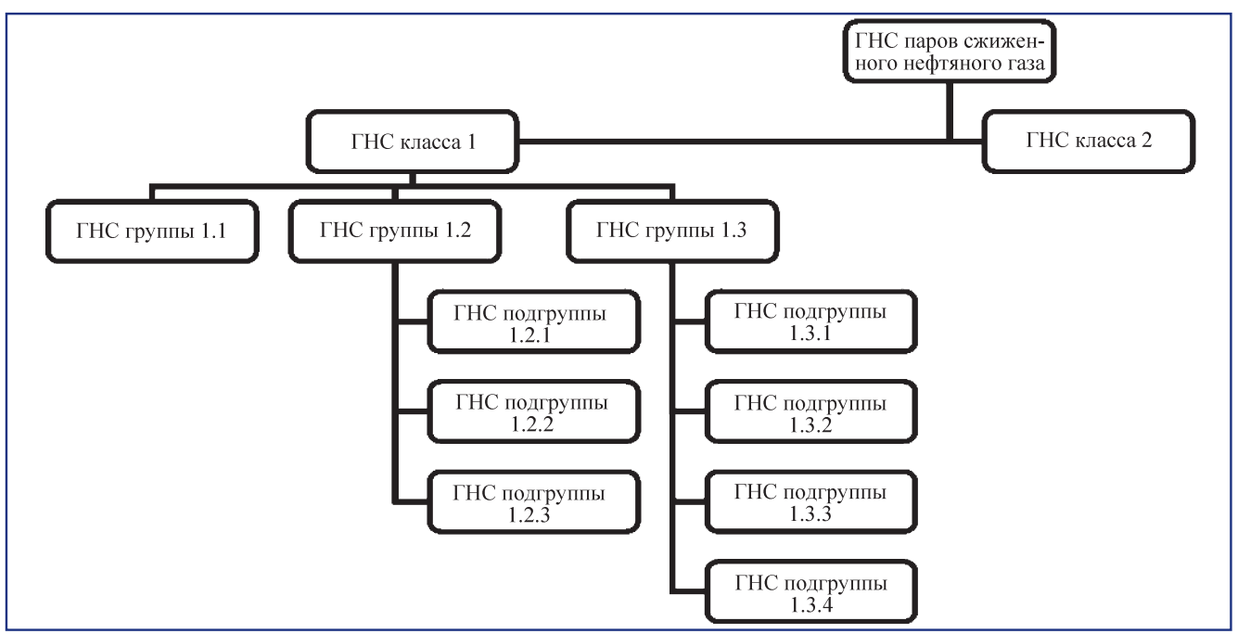
Среди устройств класса 1 можно выделить три группы (см. рисунок) – ГНС, чувствительные элементы которых имеют покрытие:

- только из оксида металла (группа 1.1);
- из оксида металла с нанесением слоя другого материала (группа 1.2);
- из композитного материала на основе оксида металла (группа 1.3).

Покрытие чувствительных элементов устройств группы 1.1 может выполняться из диоксида олова.

Например, Dong и др. разработали ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из наночастиц диоксида олова. Размер наночастиц составлял от 2,8 до 26 Нм. При температуре чувствительного элемента выше 300 °С ГНС демонстрировал высокую селективность измерений паров сжиженного нефтяного газа [2].

ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из наночастиц диоксида олова, изготовили Thomas и др. В состав ГНС входил кондуктометрический измерительный преобразователь (КИП). При температуре чувствительного элемента 345 °С воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % сопровождалось понижением электрического сопротивления ГНС на ~10 %. Время установления показаний не превосходило 1 мин [16].



Систематизация ГНС паров сжиженного нефтяного газа

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:43

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Hieu и др. также применили ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из наночастиц диоксида олова. ГНС был оснащен КИП. Наибольшая чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 340 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,25 % обеспечивал снижение электрического сопротивления ГНС в ~8 раз [6].

ГНС, чувствительные элементы которых имели покрытие из нанопроводов диоксида олова, создали Thong и др. В ГНС использовались КИП. Диапазоны измерений были от 0,05 до 0,2 %. Наибольшая чувствительность измерений достигалась при температуре чувствительных элементов 350 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,05 % вызывало уменьшение электрического сопротивления ГНС в ~6 раз, с концентрацией 0,09 % – в ~10 раз, с концентрацией 0,2 % – в ~22 раза. Время установления показаний соответствовало 3 с, а возврата показаний к базовой линии – 9 с (при контакте с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 %) [17, 18].

Покрытие чувствительных элементов устройств группы 1.1 выполняется и из монооксида цинка.

В частности, Singh и др. предложили ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из нанопрутков монооксида цинка. Соотношение длины и диаметра нанопрутков составляло около 10. В состав ГНС входил КИП. Наибольшая чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 550 °С [13].

ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из вертикально ориентированных нанопрутков монооксида цинка, разработали Sivapunniyam и др. ГНС был оснащен КИП. Диапазон измерений соответствовал 0,1–0,9 %. Наибольшая чувствительность измерений достигалась при температуре чувствительного элемента 300 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % приводило к понижению электрического сопротивления ГНС на 2 %, с концентрацией 0,3 % – на 8,7 %, с концентрацией 0,5 % – на 14 %, с концентрацией 0,7 % – на 16,5 %, а с концентрацией 0,9 % – на 20,8 %. Время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии оценивались на уровне 300 с [15].

Ghosh и др. изготовили ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из "капустный лист" – подобных наночастиц монооксида цинка. В ГНС применялся КИП. Диапазон измерений был от 0,01 до 0,05 %. Наибольшая чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 200 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,02 % обусловливал изменение электрического сопротивления ГНС на ~5 %, с концентрацией 0,05 % – на ~12 %. Время установления показаний не превышало 6 с, а возврата показаний к базовой линии – 8 с (при воздействии паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,02 %) [3].

ГНС, чувствительные элементы которых имели тонкослойное покрытие из наночастиц монооксида цинка, использовали Patil и др. В состав ГНС входили КИП. Диапазоны измерений составляли от 0,01 до 0,05 %. Наибольшая чувствительность измерений соответствовала температуре чувствительного элемента 300 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % сопровождался снижением электрического сопротивления ГНС в 1727 раз. Время установления показаний не превосходило 5 с, а возврата показаний к базовой линии – 2 с. Воздействие водорода, диоксида углерода, аммиака, хлора, паров этилового спирта и сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % обеспечивало выходные сигналы, которые соотносились как 2,7:0.71:1,1:0,55:0,77:1727 [9].

Покрытие чувствительных элементов устройств группы 1.1 также выполняется из диоксида титана.

В том числе, Bahadur и др. создали ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из наночастиц диоксида титана. ГНС был оснащен КИП. При температуре чувствительного элемента 400 °С контакт с парами ацетона, толуола, сжиженного нефтяного газа и этилового спирта вызывал выходные сигналы, соотносившиеся как 53:7:37:3 [1].

ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из нанопроводов диоксида титана, предложили Le и др. Диаметр нанопроводов составлял 10–20 Нм, а длина – несколько микрометров. В ГНС применялся КИП. При температуре чувствительного элемента 400 °С ГНС обладал высокой чувствительностью измерений [7].

Помимо этого, материалом покрытия чувствительных элементов устройств группы 1.1 может являться монооксид кадмия или триоксид железа.

Так, Salunkhe и др. разработали ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из нанопрутков монооксида кадмия. Диапазон измерений был от 0,06 до 0,2 %. Наибольшая чувствительность измерений достигалась при температуре чувствительного элемента 425 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,06 % приводило к изменению выходного сигнала ГНС на 7 %, с концентрацией 0,1 % – на 14 %, с концентрацией 0,16 % – на 17 %, с концентрацией 0,2 % – на 18 %. При контакте с одинаковыми концентрациями диоксида углерода и паров сжиженного нефтяного газа выходные сигналы соотносились как 1:3. ГНС демонстрировал стабильность метрологических характеристик при лабораторных испытаниях в течение 35 дней [12].

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:43

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ГНС, чувствительные элементы которых имели покрытие из наночастиц монооксида кадмия, также изготовили Salunkhe и др. Толщина покрытий была 520, 790, 970 или 1390 нм. Наибольшую чувствительность измерений показал ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие толщиной 970 нм и функционировавшим при температуре 425 °С. Диапазон измерений соответствовал 0,05–0,2 %. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,05 % обусловливало изменение выходного сигнала на ~ 15 %, с концентрацией 0,1 % – на ~21 %, с концентрацией 0,16 % – на ~34 %, с концентрацией 0,2 % – на ~35 %. При контакте с одинаковыми концентрациями диоксида углерода, азота и паров сжиженного нефтяного газа выходные сигналы соотносились как 18:3:34. Время установления показаний составляло ~100 с, а возврата показаний к базовой линии – ~90 с. ГНС характеризовался стабильностью метрологических показателей на протяжении 15 суток исследований [11].

Patil и др. использовали ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из нанопрутков триоксида железа. В состав ГНС входил КИП. Диапазон измерений был от 0,0005 до 0,006 %. Наибольшая чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 300 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,0005 % сопровождалось уменьшением электрического сопротивления ГНС в 15 раз, с концентрацией 0,005 % – в 1746 раз. Контакт с диоксидом углерода, водородом, монооксидом углерода, парами этилового спирта и сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,005 % обеспечивал выходные сигналы, соотносившиеся как 1:8:4:7:1746. Время установления показаний не превышало 3–4 с, а время возврата показаний к базовой линии – 8–9 мин [8].

Устройства группы 1.2 можно подразделить на три подгруппы (см. рисунок) – ГНС с чувствительными элементами, содержащими покрытие из оксида металла с нанесением слоя:

- металла (подгруппа 1.2.1);
- другого оксида металла (подгруппа 1.2.2);
- неорганического соединения (подгруппа 1.2.3).

Покрытие чувствительных элементов устройств подгруппы 1.2.1 выполняется из слоя оксида металла и слоя платины или палладия.

Например, ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из слоя наночастиц диоксида олова и слоя наночастиц платины, создали Haridas и др. Толщина слоя наночастиц диоксида олова соответствовала 90 нм. Размер наночастиц платины варьировался от 2 до 20 нм. ГНС были оснащены КИП. Наибольшей чувствительностью измерений обладал ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие с наночастицами платины размером 10 нм и функционировавшим при температуре 220 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,002 % вызывало понижение электрического сопротивления ГНС в ~40 раз, с концентрацией 0,01 % – в ~1000 раз, с концентрацией 0,02 % – в ~5000 раз. Время установления показаний составляло ~150 с, а возврата показаний к базовой линии – ~60 с. При контакте с сероводородом, метаном, аммиаком, водородом, диоксидом углерода и парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,02 % выходные сигналы ГНС соотносились как 1:1,5:8:9:10:5000. Кроме того, чувствительность измерений возрастала при облучении чувствительного элемента ультрафиолетовым светом. При применении излучения с длиной волны 365 нм воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,02 % приводило к снижению электрического сопротивления в 4400 раз, но при комнатной, а не 220 °С температуре чувствительного элемента [4, 5].

Sivapunniyam и др. предложили ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из слоя вертикально ориентированных нанопрутков монооксида цинка и слоя наночастиц платины. В ГНС использовался КИП. Диапазон измерений был от 0,1 до 0,9 %. Наибольшая чувствительность измерений достигалась при температуре чувствительного элемента 250 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % обусловливал уменьшение электрического сопротивления ГНС на 7 %, с концентрацией 0,3 % – на 34 %, с концентрацией 0,5 % – на 46 %, с концентрацией 0,7 % – на 54,4 %, а с концентрацией 0,9 % – на 59 % [15].

ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из слоя нанопрутков монооксида кадмия и слоя наночастиц палладия, разработали Salunkhe и др. Диапазон измерений соответствовал 0,06–0,2%. Наибольшая чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 275 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,06 % сопровождалось изменением выходного сигнала на ~21 %, с концентрацией 0,1 % – на ~35 %, с концентрацией 0,16 % – на ~48 %, с концентрацией 0,2 % – на ~49 %. Время установления показаний не превосходило 20 с, а возврата показаний к базовой линии – 80 с. Контакт с одинаковыми концентрациями диоксида углерода и паров сжиженного нефтяного газа обеспечивал выходные сигналы,

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:43

Color profile: Disabled
Composite Default screen

соотносившиеся как 1:3,5. Стабильность метрологических характеристик сохранялась в течение 35 дней испытаний [12].

Примерами устройств подгруппы 1.2.2 являются ГНС, чувствительные элементы которых имели покрытие из слоя наночастиц диоксида олова и слоя наночастиц триоксида железа. При температуре чувствительного элемента 350 °С достигалась наибольшая чувствительность измерений. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % вызывало изменение выходного сигнала в 1990 раз. Время установления показаний составляло ~2 с, а возврата показаний к базовой линии – ~9 с. При контакте с диоксидом углерода, водородом, аммиаком, парами этилового спирта и сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % выходные сигналы соотносились как 2,33:8,5:3,07:38,72:1990 [10].

В качестве примера устройств подгруппы 1.2.3 можно привести ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из слоя вертикально ориентированных нанопрутков монооксида цинка и слоя наночастиц станната цинка. В состав ГНС входил КИП. Диапазон измерений был от 0,1 до 0,9 %. При температуре чувствительного элемента 250 °С воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,225 % приводило к понижению электрического сопротивления ГНС на 34 %, с концентрацией 0,24 % – на 35 %, с концентрацией 0,27 % – на 44 %, а с концентрацией 0,3 % – на 63 % [15].

Среди устройств группы 1.3 можно выделить четыре подгруппы (рис. 1) – ГНС, чувствительные элементы которых имеют покрытие из композитного материала на основе:

- оксида металла и металла (подгруппа 1.3.1);
- двух оксидов металлов (подгруппа 1.3.2);
- оксида металла и углеродных нанотрубок (подгруппа 1.3.3);
- двух оксидов металлов и металла (подгруппа 1.3.4).

Покрытие чувствительных элементов устройств подгруппы 1.3.1 может быть выполнено из композитного материала на основе оксида металла и цезия или оксида металла и серебра.

В частности, Thomas и др. изготовили ГНС с чувствительными элементами, содержавшими покрытие из композитного материала на основе наночастиц диоксида олова и наночастиц цезия (1, 2, 3 или 4 %). ГНС были оснащены КИП. Наибольшей чувствительностью измерений обладал ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие с 2 % наночастиц цезия и функционировал при температуре 345 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,1 % обусловливал снижение электрического сопротивления ГНС на 93,4 %. Время установления показаний соответствовало ~1 мин [16].

ГНС с чувствительными элементами, содержавшими покрытие из композитного материала на основе наночастиц диоксида титана и наночастиц серебра (0,05, 0,5 или 5 %), применили Bahadur и др. По сравнению с ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие только из наночастиц диоксида титана, наблюдалась более низкая чувствительность измерений [1].

Hieu и др. создали ГНС с чувствительными элементами, содержавшими покрытие из композитного материала на основе наночастиц диоксида олова и 1% наночастиц диоксида платины, триоксида железа, монооксида меди или триоксида лантана (устройства подгруппы 1.3.2). В ГНС использовались КИП. Наибольшую чувствительность измерений демонстрировал ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие с наночастицами диоксида платины и функционировал при температуре 360 °С. Воздействие паров сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,25 % сопровождалось уменьшением электрического сопротивления в ~15 раз [6].

ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из композитного материала на основе нанопрутков монооксида цинка и наночастиц триоксида индия (устройство подгруппы 1.3.2), предложили Singh и др. В состав ГНС входил КИП. При температуре чувствительного элемента 550 °С контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,4 % обеспечивал понижение электрического сопротивления ГНС в ~20 раз. Воздействие аммиака, монооксида углерода, паров ацетона, сжиженного нефтяного газа, пропилового и этилового спирта с концентрацией 0,4 % вызывало выходные сигналы, соотносившиеся как 1,5:9:18:20:7:37 [13].

Hieu и др. разработали ГНС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композитного материала на основе наночастиц диоксида олова и 0,1 % многослойных углеродных нанотрубок (устройства подгруппы 1.3.3). Покрытия содержали углеродные нанотрубки с диаметром менее 10 нм, от 20 до 40 нм или от 60 до 100 нм. ГНС были оснащены КИП. Наибольшую чувствительность измерений показал ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие с нанотрубками диаметром от 20 до 40 нм и функционировавшим при температуре 320 °С. Контакт с парами сжиженного нефтяного газа с концентрацией 0,25 % приводил к снижению электрического сопротивления в ~55 раз [6].

ГНС, чувствительный элемент которого имел покрытие из композитного материала на основе

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:44

Color profile: Disabled
Composite Default screen

нанопрутков монооксида цинка, наночастиц триоксида индия и 1 % наночастиц палладия (устройство подгруппы 1.3.4), изготовили Singh и др. В ГНС применялся КИП. Диапазон измерений составлял от 0,05 до 0,4%. При температуре чувствительного элемента 550 °С воздействие одинаковых концентраций аммиака, монооксида углерода, паров ацетона, сжиженного нефтяного газа, пропилового и этилового спирта обусловливало выходные сигналы, которые соотносились как 1:2:4,5:16,5:5,5:4 [13].

Примером устройств класса 2 является ГНС с чувствительным элементом, содержавшим покрытие из композитного материала на основе наночастиц полиакриламида и наночастиц кобальта. Размер наночастиц соответствовал 6 нм. В состав ГНС входил КИП. Диапазон измерений был от 1 до 5 %. Чувствительный элемент функционировал при комнатной температуре. При проведении испытаний в течение месяца чувствительность измерений изменялась менее чем на 4 % [14].

Представленные сведения свидетельствуют о следующем.

Разработанные ГНС позволяют определять пары сжиженного нефтяного газа с концентрацией от 0,0005 до 5 %. Время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии составляют от нескольких секунд до нескольких минут. Чувствительные элементы содержат покрытия, состоящие из наноматериалов оксида металла, металла, неорганического соединения, полимера и углеродных нанотрубок. В большинстве случаев чувствительные элементы ГНС функционируют при повышенной (200–550 °С) температуре. Но, если покрытие выполнено из композитного материала на основе наночастиц полиакриламида и наночастиц кобальта или из наночастиц диоксида олова с нанесением слоя наночастиц платины (при облучении ультрафиолетовым светом), температура функционирования чувствительного элемента соответствует комнатной. ГНС преимущественно оснащаются КИП. В ряде случаев отмечается высокая чувствительность, селективность и воспроизводимость результатов измерений, а также стабильность метрологических характеристик.

Механизмы действия ГНС до конца не выяснены, однако можно указать отдельные закономерности:

- чувствительность измерений часто монотонно снижается с увеличением концентрации паров сжиженного нефтяного газа;
- чувствительность и селективность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии в значительной мере зависят от температуры чувствительного элемента;
- на чувствительность измерений оказывает влияние толщина покрытия чувствительного элемента;
- морфология материала покрытия (наночастицы, нанопрутки, нанопровода, нанотрубки) влияет на его пористость, которая определяет показатели массообмена с анализируемой средой и, как следствие, чувствительность и селективность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии;
- чувствительность и селективность измерений, а также температура, соответствующая максимальной чувствительности измерений, существенно зависят от состава материала (материалов) покрытия чувствительного элемента.

Так, нанесение в покрытии чувствительного элемента ГНС на вертикально ориентированные нанопрутки монооксида цинка слоя наночастиц платины или слоя наночастиц станната цинка сопровождается ростом чувствительности измерений и понижением температуры, соответствующей максимальной чувствительности измерений [15]. Нанесение на нанопрутки монооксида кадмия слоя наночастиц палладия обеспечивает повышение чувствительности и селективности измерений, а также снижение температуры, соответствующей максимальной чувствительности измерений [12].

Добавление в покрытии чувствительного элемента ГНС к наночастицам диоксида олова наночастиц цезия вызывает увеличение чувствительности измерений [16], а к наночастицам диоксида титана наночастиц серебра – уменьшение этого показателя [1]. Добавление к наночастицам диоксида олова наночастиц диоксида платины приводит к росту чувствительности измерений и температуры, соответствующей максимальной чувствительности измерений [6]. Добавление к нанопруткам монооксида цинка наночастиц триоксида индия обусловливает повышение чувствительности измерений [13], а к наночастицам диоксида олова многослойных углеродных нанотрубок – увеличение чувствительности измерений и понижение температуры, соответствующей максимальной чувствительности измерений [6]. Наконец, добавление к композитному материалу на основе нанопрутков монооксида цинка и наночастиц триоксида индия наночастиц палладия сопровождается улучшением селективности измерений [13].

Согласно данным табл. 2 измерительные преобразователи, пригодные для применения в системах взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования, должны уверенно определять концентрации его паров менее 1,3 %. Помимо этого, для исключения в конструкции преобразователей специальных способов взрывопожарной защи-

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:44

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ты чувствительные элементы должны функционировать при температуре ниже 372 °С.

Нетрудно заметить, что среди созданных ГНС довольно большое число устройств удовлетворяет указанным требованиям. Например, это – ГНС, чувствительные элементы которых имеют покрытие:

- из наночастиц [2, 6, 16] или нанопроводов [17, 18] диоксида олова, нанопрутков [15] или наночастиц [3, 9] монооксида цинка, нанопрутков триоксида железа [8];
- из наночастиц диоксида олова с нанесением слоя наночастиц платины [4, 5] или триоксида железа [10], нанопрутков монооксида цинка с нанесением слоя наночастиц платины или станната цинка [15], нанопрутков монооксида кадмия с нанесением слоя наночастиц палладия [12];
- из композитного материала на основе наночастиц диоксида олова и наночастиц цезия [16] или диоксида платины [6], наночастиц диоксида олова и многослойных углеродных нанотрубок [6], наночастиц полиакриламида и наночастиц кобальта [14].

Вместе с тем, среди перечисленных устройств наибольшей чувствительностью измерений паров сжиженного нефтяного газа обладают ГНС с чувствительными элементами, содержащими покрытие из наночастиц монооксида цинка [9], нанопрутков триоксида железа [8], наночастиц диоксида олова с нанесением слоя наночастиц триоксида железа [10] и наночастиц диоксида олова с нанесением слоя наночастиц платины [4, 5]. Названные ГНС характеризуются высокой селективностью измерений. Время установления показаний составляет от 2 до 150 с, а время возврата показаний к базовой линии – от 2 с до 8–9 мин. Температура функционирования чувствительных элементов соответствует 220–350 °С.

Последнее обстоятельство обусловливает сравнительно низкое энергопотребление ГНС, что наряду с их миниатюрными габаритными размерами приводит к незначительным эксплуатационным расходам. Сказанное позволяет рассматривать данные ГНС в качестве перспективных измерительных преобразователей систем взрывопожарной безопасности автогазозаправочного оборудования, а также указывает на целесообразность активизации усилий по внедрению этих устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Bahadur N., Jain K., Pasricha R., Govind, Chand S.** Selective gas sensing response from different loading of Ag in sol-gel mesoporous titania powders // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 159. № 1. P. 112–120.

2. **Dong Q., Su H., Zhang D., Zhang F.** Fabrication and gas sensitivity of SnO_2 hierarchical films with interwoven tubular conformation by a biotemplate-directed sol-gel technique // Nanotechnology. 2006. V. 17. № 15. P. 3968–3973.

3. **Ghosh A., Sharma R., Ghule A., Taur V.S., Joshi R.A., Desale D.J., Gudage Yu.G., Jadhav K.M., Han S.-H.** Low temperature LPG sensing properties of wet chemically grown zinc oxide nanoparticle thin film // Sensors and Actuators B: Chemical. 2010. V. 146. № 1. P. 69–74.

4. **Haridas D., Chowdhuri A., Sreenivas K., Gupta V.** Effect of thickness of platinum catalyst clusters on response of SnO_2 thin film sensor for LPG // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 153. № 1. P. 89–95.

5. **Haridas D., Chowdhuri A., Sreenivas K., Gupta V.** Enhanced room temperature response of SnO_2 thin film sensor loaded with Pt catalyst clusters under UV radiation for LPG // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 153. № 1. P. 152–157.

6. **Hieu N.V., Duc N.A.P., Trung T., Tuan M.A., Chien N.D.** Gas-sensing properties of tin oxide doped with metal oxides and carbon nanotubes: A competitive sensor for ethanol and liquid petroleum gas // Sensors and Actuators B: Chemical. 2010. V. 144. № 2. P. 450–456.

7. **Le D.T.T., Vuong D.D., Chien N.D.** Synthesis and LPG-sensing properties of TiO_2 nanowires // Journal of Physics: Conference Series. 2009. V. 187. № 1. Article ID 012086.

8. **Patil D., Patil V., Patil P.** Highly sensitive and selective LPG sensor based on б-Fe_2O_3 nanorods // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 152. № 2. P. 299–306.

9. **Patil L.A., Bari A.R., Shinde M.D., Deo V.** Ultrasonically prepared nanocrystalline ZnO thin films for highly sensitive LPG sensing // Sensors and Actuators B: Chemical. 2010. V. 149. № 1. P. 79–86.

10. **Patil L.A., Shinde M.D., Bari A.R., Deo V.V., Patil D.M., Kaushik M.P.** Fe_2O_3 modified thick films of nanostructured SnO_2 powder consisting of hollow microspheres synthesized from pyrolysis of ultrasonically atomized aerosol for LPG sensing // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 155. № 1. P. 174–182.

11. **Salunkhe R.R., Dhawale D.S., Dubal D.P., Lokhande C.D.** Sprayed CdO thin films for liquefied petroleum gas (LPG) detection // Sensors and Actuators B: Chemical. 2009. V. 140. № 1. P. 86–91.

12. **Salunkhe R.R., Dhawale D.S., Patil U.M., Lokhande C.D.** Improved response of CdO nanorods towards liquefied petroleum gas (LPG): Effect of Pd sensitization // Sensors and Actuators B: Chemical. 2009. V. 136. № 1. P. 39–44.

13. **Singh P., Singh V.N., Jain K., Senguttuvan T.D.** Pulse-like highly selective gas sensors based on ZnO nanostructures synthesized by a chemical route: Effect of in doping and Pd loading // Sensors and Actuators B: Chemical. 2012. V. 166–167. P. 678–684.

14. **Singh S., Yadav B.C., Tandon P., Singh M., Shukla A., Dzhardimalieva G.I., Pomogailo S.I., Golubeva N.D., Pomogailo A.D.** Polymer-assisted synthesis of metallopolymer nanocomposites and their applications in liquefied petroleum gas sensing at room temperature // Sensors and Actuators B: Chemical. 2012. V. 166–167. P. 281–291.

15. **Sivapunniyam A., Wiromrat N., Myint M.T.Z., Dutta J.** High-performance liquefied petroleum gas sensing based on nanostructures of zinc oxide and zinc stannate // Sensors and Actuators B: Chemical. 2011. V. 157. № 1. P. 232–239.

16. **Thomas B., Benoy S., Radha K.K.** Influence of Cs doping in spray deposited SnO_2 thin films for LPG sensors // Sensors and Actuators B: Chemical. 2008. V. 133. № 2. P. 404–413.

17. **Thong L.V., Hoa N.D., Le D.T.T., Viet D.T., Tam P.D., Le A.-T., Hieu N.V.** On-chip fabrication of SnO_2-nanowire gas sensor: The effect of growth time on sensor performance // Sensors and Actuators B: Chemical. 2010. V. 146. № 1. P. 361–367.

18. **Thong L.V., Loan L.T.N., Hieu N.V.** Comparative study of gas sensor performance of SnO_2 nanowires and their hierarchical nanostructures // Sensors and Actuators B: Chemical. 2010. V. 150. № 1. P. 112–119.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:44

Color profile: Disabled
Composite Default screen

УДК 614.841.48

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕМОВ ПРОПАН-БУТАНА ПРИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИИ В ЗАКРЫТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ С ГАЗОБАЛЛОННЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ

Г.В. Васюков, канд. техн. наук, **А.Я. Корольченко,** д-р техн. наук,
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
В.В. Рубцов, д-р физ.-мат. наук, Московский государственный строительный университет

Рассмотрено влияние температуры и влажности воздуха на формирование локальных взрывоопасных объемов пропан-бутана. Предложена методика расчета коэффициента *Z* с учетом температуры и влажности воздуха.

Ключевые слова: пропан-бутан, газобаллонный автомобиль, газовоздушная смесь, локальный взрывоопасный объем.

FEATURES OF FORMATION OF EXPLOSIVE VOLUMES OF PROPANE-BUTANE AS IT ENTERS ENCLOSED SPACES WITH NATURAL GAS VEHICLES

Vasukov G.V., Korolchenko A.Ya., Rubzov V.V.

The effect of temperature and humidity on the formation of local explosive volumes of propane-butane. The method of calculating the coefficient Z for temperature and humidity.

Keywords: propane-butane, natural gas vehicles, gas-air mixture, a local explosive volume.

Категории помещений с газобаллонными автомобилями (ГБА) по взрывопожарной и пожарной опасности определяются по методике, изложенной в работе [1]. Данная методика едина для любых горючих газов (ГГ), в том числе и для пропан-бутана, который используется в большинстве ГБА. Однако принятая методика не учитывает некоторые факторы, оказывающие существенное влияние на величину расчетного избыточного давления Δp, возникающего при взрыве газовоздушной смеси, сосредоточенной в локальном взрывоопасном объеме (ЛВО), а именно:

– различия физико-химических и пожароопасных свойств ГГ;

– сложный характер распределения ГГ в ЛВО;

– количество ГГ, находящегося при концентрации выше ВКПР.

Подробно эти вопросы рассмотрены в нашей работе [2]. Однако на формирование ЛВО ГГ существенное влияние оказывают и другие факторы – температура и влажность воздуха в помещении и способ подачи газа, которые в конечном итоге влияют на величину Δp, а значит, на категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности. Принятая в [1] методика расчета Δp влияние данных факторов не учитывает. В этой статье нами рассмотрено влияние температуры и влажности воздуха на формирование ЛВО пропан-бутана при его поступлении в закрытые помещения.

Для исследования влияния температуры и влажности воздуха на формирование ЛВО пропан-бутана, были проведены экспериментальные исследования концентраций пропан-бутана в помещении объемом 44 м^3 размерами 4×5×2,2 м при температурах +8 °С, влажности 95 % и +20 °С, влажности 69 %. Все проемы в помещении были закрыты заслонками, а неплотности заделаны монтажной пеной. Для измерения концентраций пропан-бутана в объеме помещения использовалась многоканальная газоаналитическая система СКВА-01 с термокаталитическими датчиками ГР-01 (16 шт.). Данная газоаналитическая система

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:45

Color profile: Disabled
Composite Default screen

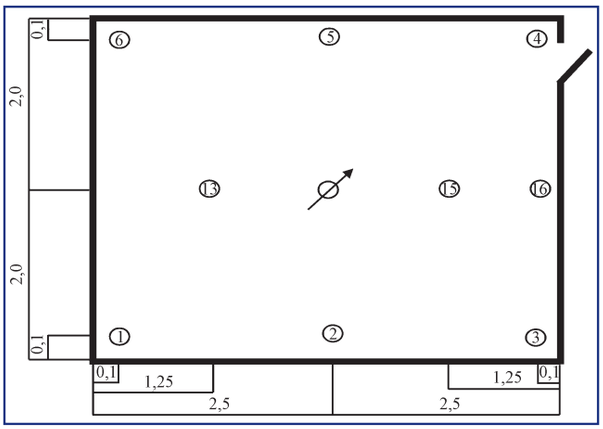


Рис. 1. *Схема расположения датчиков газоанализатора у земли*

предусматривает обработку сигнала от датчиков и вывод их на компьютер с возможностью записи показаний через любой промежуток времени в архив и одновременным построением графика изменения концентраций на всех датчиках во времени. Абсолютная погрешность измерений СКВА-01 составляет 5 %. В помещении у земли датчики были расположены на высоте 0,05 м. Кроме того, датчики располагались на различных высотах – 0,15, 0,2 и 0,5 м – в зависимости от условий эксперимента. Схема расположения датчиков у земли представлена на рис. 1.

Система подачи газа состояла из газового баллона объемом 50 л, оттарированного ротаметра и расходомера Gallus-2000 с пределами измерения расхода газа 0,04÷6 м^3/ч. Газ подавался вертикально вниз, высота источника его поступления – 0,04 м.

Исследования проводились при двух различных условиях: температуре +8 °С и влажности 95 % и температуре +20 °С и влажности 69 %. При этих условиях в помещение подавалось строго нормированное количество пропан-бутана – 50, 75, 100, 125 и 150 г. При анализе на одинаковых датчиках максимальных концентраций, образовавшихся при одинаковой массе газа, но разных температуре и влажности воздуха, было установлено, что концентрации в этих опытах значительно отличаются друг от друга. Различие концентраций во всех точках помещения имеют общую закономерность – концентрации полученные при температуре +20 °С и влажности 69 %, в среднем, в 1,5 раза меньше концентраций, образующихся при температуре +8 °С и влажности 95 %. Пример различного изменения концентраций при разных температуре и влажности воздуха, показаны на рис. 2–3.

Различие концентраций в одних и тех же точках объёма помещения, при разной температуре и влажности воздуха, позволяют предположить, что и ЛВО, образующиеся при разных температуре и влажности воздуха, также будут различные, а значит и масса пропан-бутана, сосредоточенная в этих объемах, будет различна. Поскольку масса газа в ЛВО не одинакова, разным будет и коэффициент Z участия пропан-бутана во взрыве в случае различия температуры и влажности воздуха.

Чтобы проверить данное предположение была использована принятая в [1] математическая модель для распределения газов в закрытых помещениях, основанная на модели шлейфообразного истечения Гаусса из точечного источника в окружающую среду [3], и полученный массив экспериментальных значений концентраций. Концентрации ГГ в объеме закрытого помещения, согласно данной модели, можно определить, используя выражение:

$$C = 100\frac{m}{\rho_г V_п} K_1 \exp\left\{-\left[K_2\left(\frac{x}{L}\right)^2 + K_2\left(\frac{y}{S}\right)^2 + K_3\left(\frac{z}{H}\right)^2\right]\right\}, \text{ [\% об.]}, \quad (1)$$

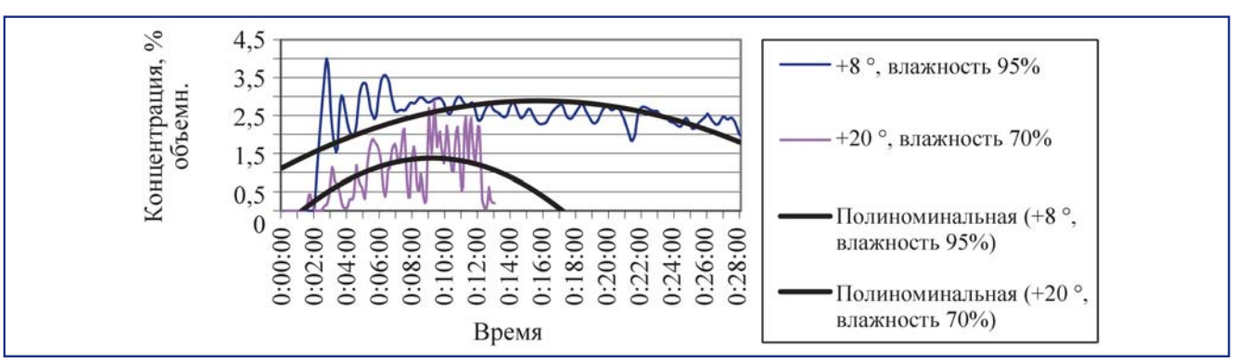


Рис. 2. *Изменение концентрации пропан-бутана во времени на датчике № 2 (рис. 1.) при одинаковой массе газа – 100 г, но разных температурах и влажности воздуха. Высота датчика 5 см. Подача газа вниз*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:50

Color profile: Disabled
Composite Default screen

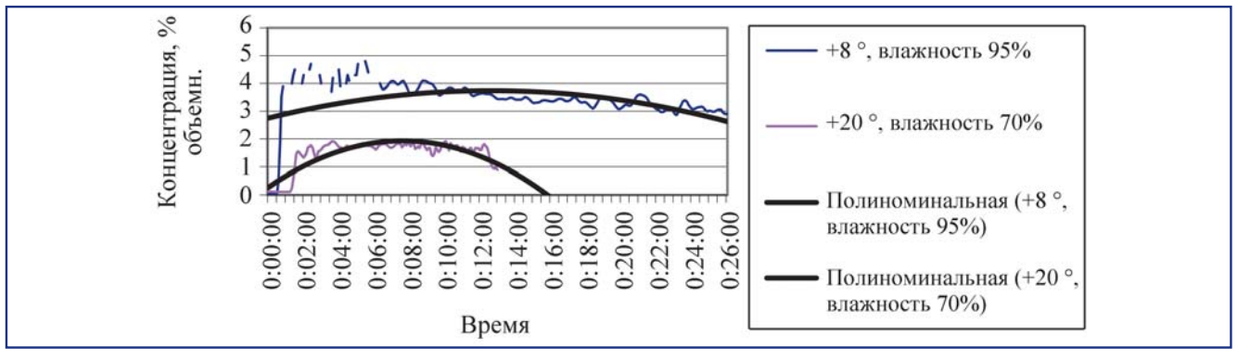


Рис. 3. *Изменение концентрации пропан-бутана во времени на датчике № 13 (рис.1) при одинаковой массе газа – 100 г, но разных температурах и влажности воздуха. Высота датчика 5 см. Подача газа вниз*

где K_1, K_2, K_3 – константы; L, S, H – длина, ширина и высота помещения, м; $\rho_г$ – плотность газа, кг/м^3; m – масса газа, поступившая в помещение.

Для определения коэффициентов K_1, K_2, K_3 был использован массив экспериментальных значений концентраций пропан-бутана в объеме помещения при различных температуре и влажности воздуха. Используя логарифмирование по основанию e выражения (1) и дифференцирование полученного выражения по коэффициентам K_1, K_2, K_3 получено три уравнения. Обработав полученный массив экспериментальных значений концентраций и координат датчиков с помощью полученных уравнений методом наименьших квадратов, определены значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 для выражения (1) для пропан-бутана для двух случаев: для температуры +8 °С и влажности 95 % и температуры +20 °С и влажности 69 %. Для нахождения коэффициентов K_2, K_3, необходимо рассчитать величину предэкспоненциального множителя C_0:

$$C_0 = 100\frac{m}{\rho_г V_n}K_1. \qquad (2)$$

Максимальные значения концентраций пропан-бутана в месте подачи газа при различных температуре и влажности воздуха для помещения с размерами 4×5×2,2 м

Масса пропан-бутана, г	T = +8 °С, влажность 95 %	T = +20 °С, влажность 69 %
	Концентрация, % объемных	
50	2,4	
75		1,8
100	2,9	2,1
125		2,3
150	3,6	

Определение C_0 производилось эмпирически, на основе положения, что C_0 численно равно максимальной концентрации в точке с координатами $X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$. Экспериментальные значения максимальных концентраций пропан-бутана в месте подачи газа при различной массе газа и разных температуре и влажности воздуха представлены в таблице.

Проведя регрессионный анализ данных, представленных в таблице с использованием программы Advanced Grapher, были получены уравнения, описывающие изменение концентрации пропан-бутана в месте подачи газа при различных температурах и влажности воздуха, с величиной стандартного отклонения не превышающего 0,021. Данные уравнения для помещения с размерами 4×5×2,2 м. имеют вид:

при T = +8 °С, влажности 95 %:

$$C = 12m + 1{,}8; \qquad (3)$$

при T = +20 °С, влажности 69 %:

$$C = 8m + 1{,}3. \qquad (4)$$

Графики прямых, аппроксимирующих экспериментальные значения концентраций в месте выпуска газа, представлены на рис. 4.

Подставив полученные выражения C_0 и K_1, K_2, K_3 для разных значений температуры и влажности воздуха в (1), были получены выражения для определения концентраций пропан-бутана в объеме помещения при T = +8 °С, влажности 95 % и T = = +20 °С, влажности 69 %:

$$C = \left(\frac{100m}{\rho_г V_n}10{,}6 + 1{,}8\right)\exp\left\{-\left[2{,}1\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2{,}1\left(\frac{y}{S}\right)^2 + 177{,}5\left(\frac{z}{H}\right)^2\right\}\right], \text{[\% об.]}, \qquad (5)$$

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:54

Color profile: Disabled
Composite Default screen

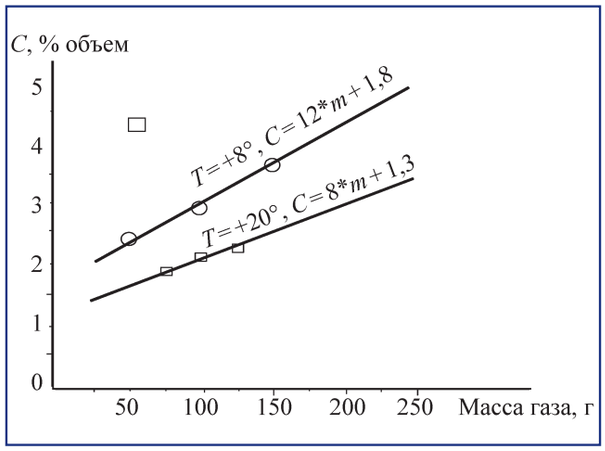


Рис. 4. *Графики прямых, аппроксимирующих экспериментальные значения максимальных концентраций в месте подачи пропан-бутана при различных температуре и влажности воздуха*

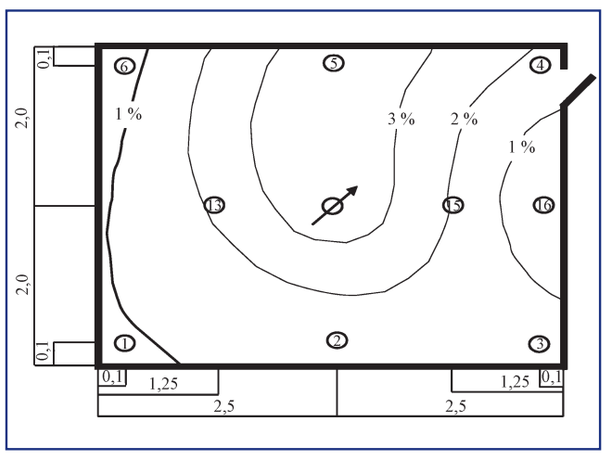


Рис. 5. *Схема помещения с линиями изоконцентраций на уровне пола, построенных по экспериментальным данным. Условия проведения эксперимента: масса пропан-бутана 0,1 кг, подача газа вниз, $T_{возд}$ = +8 °С, влажность 95 %*

$$C = \left(\frac{100m}{\rho_г V_п}7 + 1{,}3\right)\exp\left\{-\left[3{,}5\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 3{,}5\left(\frac{y}{S}\right)^2 + 96{,}7\left(\frac{z}{H}\right)^2\right]\right\}, \text{ [\% об.]}. \quad (6)$$

Чтобы убедиться, насколько точно полученные выражения рассчитывают концентрации пропан-бутана в объеме закрытого помещения при различных температурах и влажности воздуха, нужно сравнить схемы помещений, где проводились опыты, с линиями изоконцентраций, полученных экспериментальным путём и рассчитанных по полученным формулам. Для примера на рис. 5–8 приведены указанные схемы, построенные при массе пропан-бутана 0,1 кг.

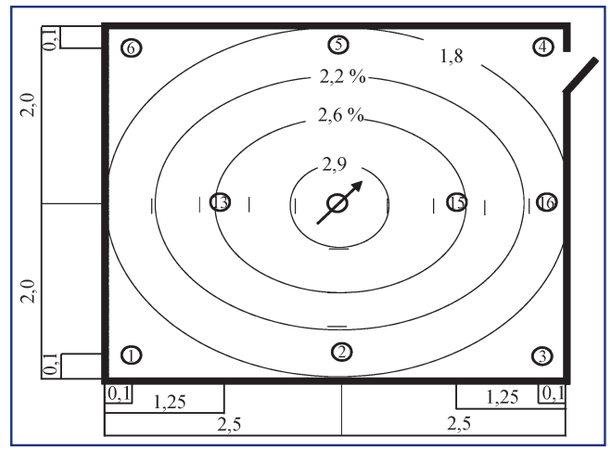


Рис. 6. *Схема помещения с линиями изоконцентраций на уровне пола, построенных по полученной формуле (5). Масса пропан-бутана 0,1 кг. Подача газа вниз*

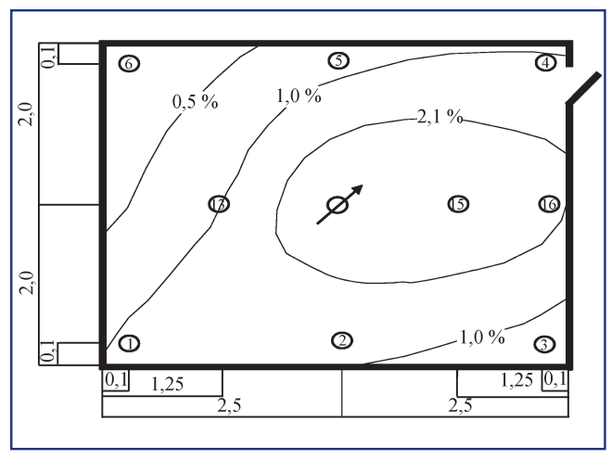


Рис. 7. *Схема помещения с линиями изоконцентраций на уровне пола, построенных по экспериментальным данным. Условия проведения эксперимента: масса пропан-бутана 0,1 кг, подача газа вниз, $T_{возд}$ = +20 °С, влажность 69 %*

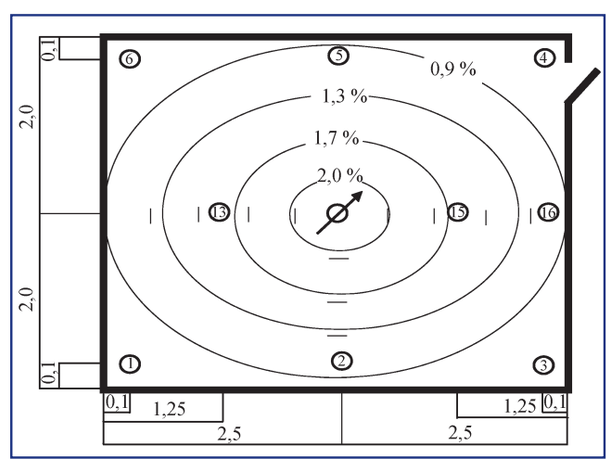


Рис. 8. *Схема помещения с линиями изоконцентраций на уровне пола, построенных по полученной формуле (6). Масса пропан-бутана 0,1 кг. Подача газа вниз*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:55

Color profile: Disabled
Composite Default screen

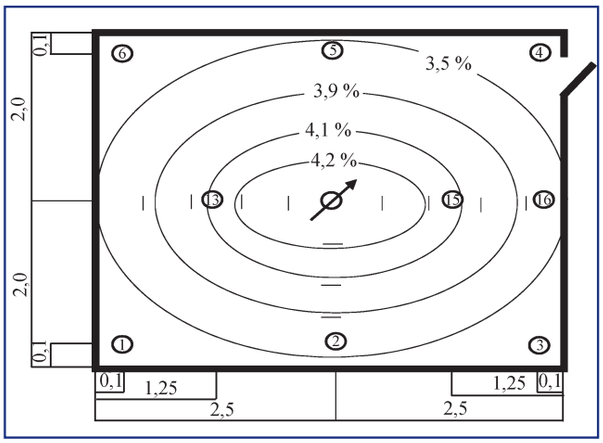


Рис. 9. *Схема помещения с линиями изоконцентраций на уровне пола, построенных по формуле (7), принятой в [1]. Масса пропан-бутана 0,1 кг*

Выражение для расчёта концентраций любых ГГ на котором основывается методика определения коэффициента Z, принятая в [1], имеет вид:

$$C = 3{,}77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho V_n} \exp\left\{ -\left[\left(\frac{X}{1{,}1314L} \right)^2 + \left(\frac{Y}{1{,}1314S} \right)^2 + \left(\frac{Z}{0{,}0253H} \right)^2 \right] \right\}, \text{ [\% об]}. \quad (7)$$

Поле концентраций пропан-бутана, которое получится при расчёте концентраций для условий, рассмотренных выше, по формуле (7), показано на рис. 9.

Из анализа рис. 5–9 следует:

– поля концентраций пропан-бутана при его поступлении в помещение с размерами 4×5×2,2 м при всех одинаковых условиях, за исключением температуры и влажности воздуха, значительно отличаются друг от друга;

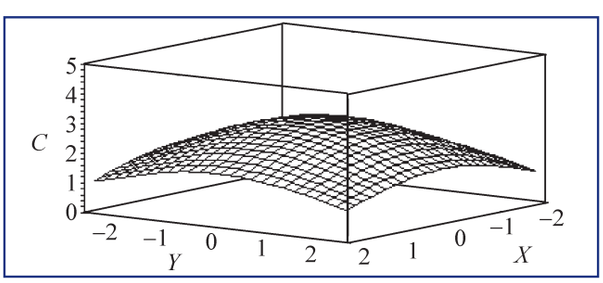


Рис. 10. *Значения максимальных концентраций пропан-бутана на плоскости пола помещения с размерами 4×5×2,2 м, рассчитанных по формуле (5), при условии $m_г$ = 0,1 кг, $T_{возд}$ = +8 °С, влажность 95 %. Подача газа вниз*

– уточненные формулы (5–6) достаточно точно рассчитывают концентрации пропан-бутана в объеме данного помещения при разных значениях температуры и влажности воздуха;

– принятая в [1] формула (7) имеет значительно большую погрешность, при расчете концентраций в объеме рассматриваемого помещения, по сравнению с формулами (5–6).

Оценить разное количество ГГ, которое будет содержаться в ЛВО пропан-бутана при подаче 0,1 кг газа и разных условиях $T_{возд}$ = +8 °С, влажность 95 % и $T_{возд}$ = +20 °С, влажность 69 %, можно, используя построение в трёхмерном пространстве решений выражений (5–6). Поле концентраций пропан-бутана в системе координат, где X, Y – ширина и длина помещения, ось Z – концентрация в % объемных, для 0,1 кг газа при разных температурах и влажности воздуха, показано на рис. 10–11.

Для сравнения на рис. 12 приведено поле концентраций пропан-бутана, рассчитанное для $m_г$ = = 0,1 кг по формуле (7), принятой в [1].

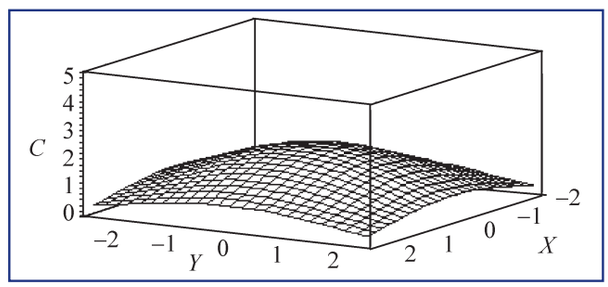


Рис. 11. *Значения максимальных концентраций пропан-бутана на плоскости пола помещения с размерами 4×5×2,2 м, рассчитанных по формуле (6), при условии $m_г$ = 0,1 кг, $T_{возд}$ = +20 °С, влажность 69 %. Подача газа вниз*

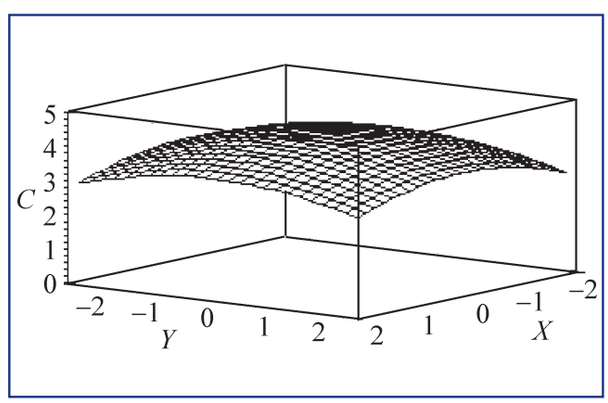


Рис. 12. *Значения максимальных концентраций пропан-бутана на плоскости пола помещения с размерами 4×5×2,2 м, рассчитанных по формуле (7) при условии $m_г$ = 0,1 кг*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:56:56

Color profile: Disabled
Composite Default screen

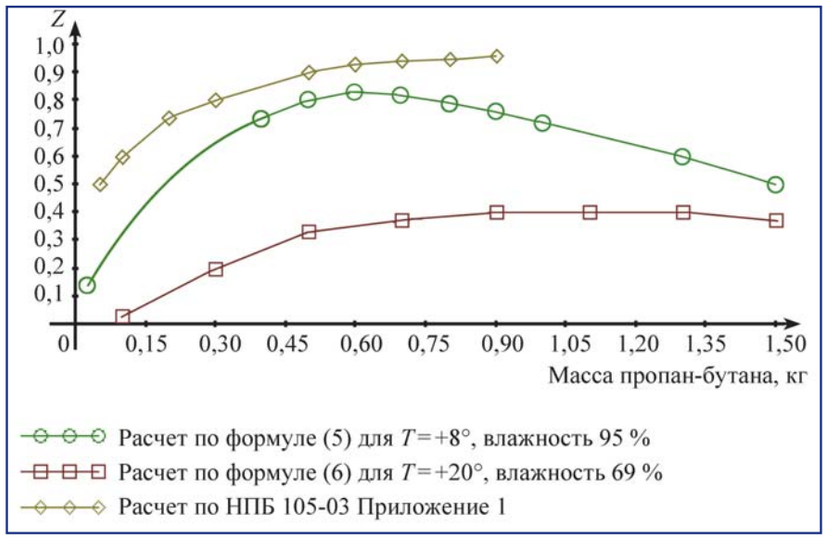


Рис. 13. *Зависимости изменения коэффициента Z от массы пропан-бутана для помещения с размерами 4×5×2,2 м, вычисленными по методике, принятой в НПБ 105-03 и по формулам (5–6) для разных значений температуры и влажности воздуха*

Анализ рис. 10–12 подтверждает, что количество пропан-бутана, содержащееся в ЛВО, который образуется при условии поступления в помещение 0,1 кг газа при разных температуре и влажности воздуха, будет различным. Результаты вычисления концентраций пропан-бутана в закрытом помещении, полученные по принятой в [1] общей для всех ГГ формуле (7), значительно отличаются от значений концентраций, полученных по формулам (5–6) и от экспериментальных данных в сторону завышения.

Для количественной оценки массы пропан-бутана, содержащейся в ЛВО при разных температуре и влажности воздуха, была использована методика интегрирования ЛВО, который рассчитывается по полученным формулам (5–6). В данной статье будем использовать конечные выражения данной методики.

Выражение для определения коэффициента Z будет иметь вид:

$$Z = \frac{\rho C_0 LSH\pi}{m_г 50 K_2 \sqrt{K_3}} \times \left(\frac{r_1 e^{-r_1^2}}{2} - \frac{r_2 e^{-r_2^2}}{2} + \frac{\sqrt{\pi}}{4}(erf(r_2) - erf(r_1)) \right), \quad (8)$$

где r_1 и r_2 – радиусы сфер, ограничивающих $C_{вкпр}$ и $C_{нкпр}$, которые определяются выражениями:

$$r_1 = \sqrt{\ln \frac{C_0}{C_{вкпр}}}, \quad (9)$$

$$r_2 = \sqrt{\ln \frac{C_0}{C_{нкпр}}}; \quad (10)$$

erf(r) – интеграл вероятности ошибки, определяется выражением:

$$erf(r) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^r e^{-t^2} dt, \quad (11)$$

C_0 – предэкспоненциальный множитель уравнения (1), равный (2); K_2, K_3 – константы уравнения (1); L, S, H – длина, ширина и высота помещения, м; $\rho_г$ – плотность газа, кг/м^3; $m_г$ – масса газа, поступившая в помещение, кг.

Подставив в выражение (8) значения соответствующих величин C_0, K_2, K_3 из полученных выражений (5–6), получим выражения для расчёта коэффициента Z для различных условий: $T_{возд}$ = +8 °С, влажности 95 % и $T_{возд}$ = +20 °С, влажности 69 %. Зависимости изменения коэффициента Z от массы пропан-бутана, подаваемого в помещение с размерами 4×5×2,2 м, где проводились опыты при различных температуре и влажности воздуха, вычисленные с использованием формул (5–6), а также по методике, принятой в НПБ 105-03, показаны на рис. 13.

Значения Z на рис. 13 получены для помещения малого объёма. Экспериментальные исследования [4–5], где определялась степень участия ГГ во взрыве при аварийном поступлении в объем помещения, показали, что при одинаковых относительных значениях задаваемых параметров, влияющих на образование ЛВО ГГ, с увеличением объёма помещения относительная масса горючего, сосредоточенная в ЛВО, уменьшается. Следовательно, формулы (5–6), полученные по результатам обработки экспериментальных данных полей концентраций в помещении объемом 44 м^3, с некоторым

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:02

Color profile: Disabled
Composite Default screen

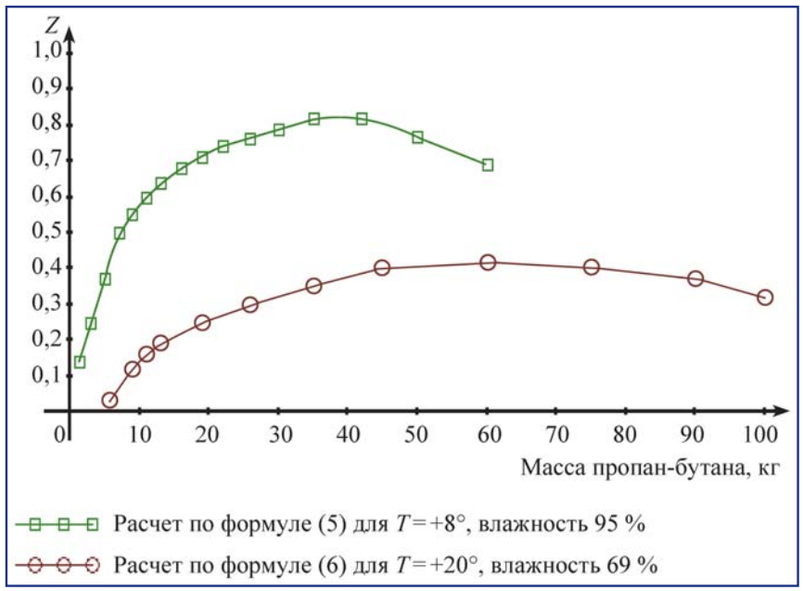


Рис. 14. *Зависимости изменения коэффициента Z от массы пропан-бутана для помещения автостоянки размером этажа 21,6×45×3 м, вычисленными по предлагаемой методике, с использованием формул (5–6) для разных значений температуры и влажности воздуха*

запасом в сторону увеличения массы пропан-бутана, находящегося в ЛВО, а значит и коэффициента Z, можно применить и для расчёта Z в помещениях большего объема.

Зависимости изменения коэффициента Z от массы пропан-бутана для помещения автостоянки размером этажа 21,6×45×3 м со свободным объемом 2550 м^3, вычисленные по предлагаемой методике с использованием формул (5–6), показаны на рис. 14.

Из анализа рис. 14 следует, что при разной температуре и влажности воздуха, доля участия во взрыве пропан-бутана при одинаковой массе газа, поступившего в помещение, будет различна. Повышение температуры и уменьшение влажности уменьшают долю участия пропан-бутана во взрыве и наоборот. Это можно объяснить тем, что при более высокой температуре увеличивается активность молекул газа и возрастает молекулярная диффузия, которая способствует более активному перемешиванию газа в объеме помещения. Таким образом, пропан-бутан при более высокой температуре распространяется в большем объёме помещения по отношению к объему, в котором бы он распространился при более низкой температуре при одинаковом количестве газа, поступившего в помещение. Следовательно, газ, занимающий больший объем, будет находиться при более низких концентрациях, по отношению к такому же количеству газа, находящемуся в меньшем объеме. Поэтому при более высокой температуре масса газа, находящаяся при концентрации между НКПР и ВКПР, будет меньше по отношению к массе газа при более низкой температуре.

Необходимо отметить, что коэффициенты K_2, K_3, выражение для C_0, входящие в формулы (5–6), получены путём обработки экспериментальных данных концентраций, которые образовывались при подаче пропан-бутана в помещение относительно малого объёма (44 м^3) и в котором все неплотности были устранены с использованием монтажной пены. Коэффициент негерметичности данного помещения в 3–4 раза будет отличаться от коэффициента негерметичности реального производственного помещения, например, закрытой автостоянки. Сравнить негерметичность действую-

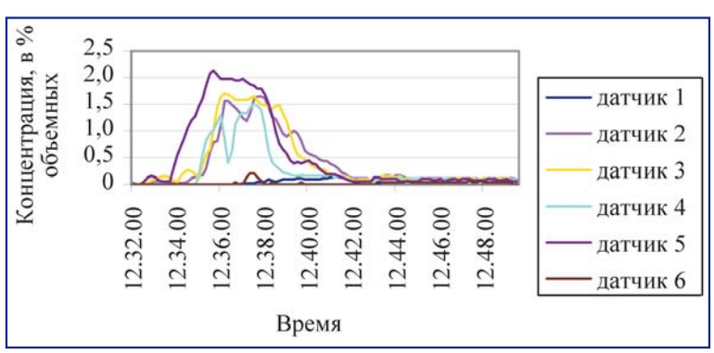


Рис. 15. *Зависимость изменения концентрации пропан-бутана во времени на датчиках 1–6 на уровне пола в помещении размером 19,5×5,6×3,5 м при подаче 0,7 кг газа*

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:13

Color profile: Disabled
Composite Default screen

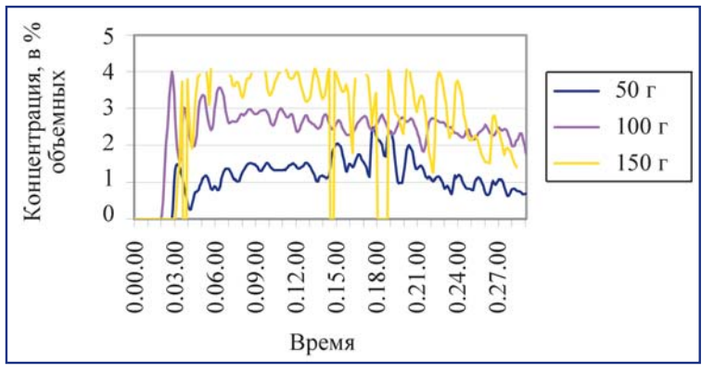


Рис. 16. *Зависимость изменения концентрации пропан-бутана во времени на датчике 2 (рис. 1) на уровне пола в помещении, где проводились опыты*

щего производственного помещения и помещения где проводились опыты можно по изменению концентрации пропан-бутана во времени для этих помещений рис. 15, 16.

Из анализа рис. 15, 16 следует, что в производственном помещении объемом 350 м^3 при подаче в него 0,7 кг пропан-бутана, концентрация газа в течении 6 мин снизилась до значения 0,05 % объемных, а в помещении где проводился эксперимент при подаче в него 0,1 кг пропан-бутана концентрация в течении более 27 мин оставалась взрывоопасной.

Таким образом, значения коэффициента Z, полученные с использованием формул (5–6), в реальных производственных помещениях будут иметь значительно более меньшие значения.

Выводы

1. Расчет коэффициента Z для пропан-бутана целесообразно проводить с учетом температуры и влажности воздуха.

2. Для приближенных расчетов, с учетом коэффициента безопасности $K_б$=1,5, принимать значения Z для пропан-бутана при температуре воздуха в помещении до +20 °С и влажности до 70 % равное Z = 0,4. При температуре выше +20 °С и влажности ниже 70 % принимать значение Z = 0,3.

3. Для более точных расчетов коэффициента Z для пропан-бутана в закрытых помещениях целесообразно использовать предлагаемую методику расчета с использованием интегрирования ЛВО и формулы (5) – для температуры воздуха до +20 °С и влажности до 70 %, а также формулы (6) для температуры воздуха выше +20 °С и влажности ниже 70 %.

4. В качестве компенсирующего мероприятия, снижающего возможность образования ЛВО пропан-бутана в помещениях с ГБА, целесообразно применять повышение температуры воздуха в помещении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **НПБ 105-03** Определение категорий зданий, помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

2. **Васюков Г.В., Корольченко А.Я., Рубцов В.В.** О теории образования локальных взрывоопасных объёмов пропан-бутана при его поступлении в помещения с газобаллонными автомобилями // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 4.

3. **Смолин И.М.** Закономерности формирования локальных скоплений горючих газов и паров при их аварийном поступлении в производственные помещения. – Дис. канд. техн. наук. М., 1986. 222 с.

4. **Рабинков В.А.** Условия образования взрывоопасных газовоздушных смесей в производственных помещениях промышленных зданий: Дис. канд. техн. наук / М.: 1982. 260 с.

5. **Стрельчук Н.А., Пчелинцев В.А., Никитин А.Г.** Взрывоопасность производств химической промышленности, связанных с образованием горючих газов // Ж. Всес. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 1982. Т. 27. № 1. С. 57–60.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:17

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ГАЗОБАЛЛОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА МЕТАНЕ

А.Н. Леонгардт

В условиях, когда топливо постоянно дорожает, его цена начинает играть все более важную роль. Тем приятнее будет узнать, что даже по сравнению с 92-м бензином метан стоит вдвое меньше. Если к этому прибавить более низкий расход топлива, получится, что эксплуатация автомобиля, оснащенного ГБО, обходится в несколько раз дешевле по сравнению с бензиновыми и дизельными аналогами.

Экономия достигается, в том числе, и за счет того, что увеличивается рабочий ресурс многих агрегатов. Так, срок службы свечей зажигания продлевается в среднем на 25 %, а двигателя – практически удваивается. Данный результат достигается благодаря тому, что газ по вполне понятным причинам не смывает защитную масляную пленку, обеспечивая эффективную смазку стенок цилиндров. В результате все детали поршневой группы меньше изнашиваются. Еще одно важное преимущество состоит в том, что в метане не содержатся присадки, обладающие окисляющими свойствами: взаимодействуя с моторным маслом, они не изменяют его свойства (включая стабильность характеристик и ресурс) в сторону ухудшения.

Следует также отметить, что автомобили, на которых установлено ГБО, освобождаются от экологического контроля при прохождении техосмотра, что позволяет существенно сократить длительность данной процедуры. Метан безопасен не только для окружающей среды, но и для людей. Это действительно так: пары бензина или пропан-бутановая смесь намного легче воспламеняются. В случае с метаном концентрация должна достичь 5 %, а добиться этого не так-то легко, поскольку данный газ легче воздуха и в случае утечки практически сразу улетучивается, а не скапливается в топливной системе, подвергая дополнительной опасности жизнь водителя и пассажиров в случае аварии.

Кстати, мало кто знает, что идея использовать метан в качестве топлива для автомобилей отнюдь не нова. Она возникла еще на заре автомобилестроения. С тех пор инженеры не раз пытались воплотить данный подход на практике, однако тогда этому мешало несовершенство технологий того времени. В их настойчивости нет ничего удивительного, поскольку именно метан обладает теми характеристиками, которые позволяют считать его идеальным моторным топливом.

Выше уже говорилось о том, что этот газ обладает прекрасными показателями с точки зрения энергетики и экологии, что делает его одним из самых перспективных видов топлива. Использование метана имеет следующие положительные аспекты:

высокий энергетический потенциал газового топлива, позволяющий обеспечить экономичную эксплуатацию автомобиля;

соответствие самым жестким международным стандартам в области экологии;

повышение износостойкости различных узлов, которые входят в состав двигателя, работающего на метане.

Важное преимущество метана перед нефтью заключается в том, что он может использоваться

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:38

Color profile: Disabled
Composite Default screen

в качестве моторного топлива сразу после добычи, без дополнительной переработки. Это существенно уменьшает стоимость конечного продукта, поскольку затраты на его производство минимальны. Таким образом, независимо от государственной налоговой политики в области энергетики метан всегда будет стоить дешевле по сравнению с бензином, дизельным и другими видами топлива, получаемыми путем переработки нефти.

Действующее российское законодательство поощряет использование метана в качестве моторного топлива, что выражается в том, что цены на него не должны превышать 50 % от стоимости бензина марки А-79 на местном рынке. Однако на практике данный показатель в большинстве случаев оказывается даже ниже границы, установленной государством. Это уникальная ситуация, поскольку в случае с бензином наблюдается устойчивый рост цен (несмотря ни на какие ограничения), а отнюдь не их снижение.

Доля метана в смеси, используемой в качестве моторного топлива, может составлять от 85 до 99 %. Это зависит в первую очередь от месторождения, на котором она была добыта. Если сравнивать химико-физические свойства этого газа с наиболее распространенными видами углеводородов, используемых в топливных системах автомобилей, то несомненное преимущество окажется на стороне метана. Это обусловлено его молекулярным строением: на четыре атома водорода приходится всего один атом углерода. Они соединяются между собой как посредством обычных внутримолекулярных сил, так и особой водородной связи. В результате молекула метана получается, с одной стороны, самой короткой среди всех углеводородов, а с другой – одной из самых стойких. Эти качества весьма важны для любого вида топлива, и в первую очередь – моторного.

При сгорании одного килограмма этого газа выделяется 49,4 МДж. Для сравнения: у бензина данный показатель составляет 45,2 МДж. Как ни странно, но авиационный керосин уступает метану еще больше – целых 11 %. В связи с этим природный газ рассматривается специалистами

Баллоны с метаном, установленные позади кабины грузового автомобиля КамАЗ

в данной отрасли как наиболее перспективный вид топлива, поскольку для воздушных судов его вес имеет первостепенное значение.

Экономичная эксплуатация двигателя, достигающаяся путем использования метана в качестве моторного топлива, определяется двумя показателями: его октановым числом и температурой, при которой воспламеняется топливовоздушная смесь. Остановимся на каждом из них подробнее. От октанового числа напрямую зависит детонационная стойкость топлива. Она в свою очередь определяет, можно ли использовать тот или иной его вид в мощных двигателях, для которых характерна высокая степень сжатия. В результате именно октановое число играет сегодня решающую роль при определении сортности топлива: чем выше это число, тем качественнее продукт и, соответственно, тем выше его цена.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:46

Color profile: Disabled
Composite Default screen

Таким образом, метан является наиболее предпочтительным видом топлива среди всех углеводородов, используемых на сегодняшний день. Октановое число этого газа находится в диапазоне от 105 до 120 ед., заметно превосходя по данному показателю даже самый качественный бензин. Для сравнения: одной лучших марок, находящих массовое применение на территории России, считается АИ-98. Хотя она и относится к классу "экстра", у метана значительно более высокое октановое число. По детонационной стойкости он имеет несомненное преимущество и перед изооктаном.

В результате метан не просто идеально подходит для всех типов двигателей искрового типа – его использование позволяет улучшить степень сжатия, повысив тем самым мощностные характеристики мотора и существенно снизив затраты на топливо. Это подтверждается не только теоретическими расчетами, но и самой практикой эксплуатации газобаллонного оборудования, работающего на метане. Известно, что чем беднее топливовоздушная смесь, тем экономичнее работает двигатель (говоря проще, чем ниже содержание топлива в 1 кг воздуха, тем лучше). По этому показателю метан не имеет себе равных. Нижний предел концентрации, при которой воспламенение смеси еще возможно, составляет для него 40 г на 1 кг воздуха, в то время как для бензина – 54 г на 1 кг воздуха, т.е. на 30 % больше. В результате при езде в спокойном режиме, когда от двигателя не требуется выдавать свою максимальную мощность (именно так он работает при передвижении по городу), метан расходуется намного экономичнее.

Срок службы двигателя напрямую зависит от того, каким образом взаимодействуют два основных компонента: моторное масло и топливо. Одной из проблем бензиновых моторов является так называемый холодный пуск. Суть его состоит в том, что топливо не успевает испариться и поступает в цилиндры, оставаясь жидким. В результате с их внутренних стенок смывается защитная масляная пленка, что приводит к целому ряду неприятных последствий. Кроме того, изменяются физико-химические свойства самого моторного масла, поскольку оно смешивается бензином, становясь более жидким и теряя в значительной степени свои смазочные свойства. В результате поршневая группа быстрее изнашивается, что приводит к ухудшению рабочих характеристик двигателя и его преждевременному выходу из строя.

При использовании метана в качестве моторного топлива картина выглядит совершенно иначе. Это связано с тем, что он находится в газообразном состоянии независимо от температуры внутри двигателя, так что само понятие "холодный пуск" теряет свой смысл. Метан также не взаимодействует с моторным маслом. В результате срок эксплуатации двигателя, работающего на этом виде топлива, увеличивается в среднем на 50 %, сокращается количество поломок.

Еще одним моментом, заслуживающим отдельного рассмотрения, является экологичность двигателей, использующих метан. Сегодня, когда стандарты в этой области постоянно ужесточаются, автомобили с ГБО приобретают явные преимущества перед своими более "грязными" бензиновыми конкурентами. Экологичность метана определяется следующими тремя основными факторами:

выбор в пользу данного вида топлива позволяет более рационально использовать невозобновляемые природные ресурсы, которые близки к истощению;

при сгорании природного газа образуется значительно меньше веществ, которые могут

Компоненты газобаллонного оборудования

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:53

Color profile: Disabled
Composite Default screen

представлять угрозу для окружающей среды и здоровья человека;

метан сам по себе относится к категории парниковых газов, вызывающих глобальное потепление климата. Используя его в качестве топлива, вы тем самым вносите вклад в борьбу с ним.

Разведанные запасы метана в десятки раз больше запасов нефти. При этом он имеет одно важное преимущество: почти весь добытый объем может быть использован в качестве моторного топлива, в то время как значительная часть нефти теряется при транспортировке и переработке, загрязняя при этом окружающую среду (не говоря уже о попутном газе, сжигание которого лишь усиливает парниковый эффект). В результате использования бензина или керосина природные ресурсы истощаются гораздо быстрее, поскольку доля светлых нефтепродуктов в общем объеме добытого сырья сравнительно невысока. Теоретические расчеты, сделанные ведущими специалистами в области энергетики, показывают, что перевод всех транспортных средств на природный газ позволил бы минимум на 200 лет обеспечить человечеству топливную безопасность. Для сравнения: при сохранении нынешнего уровня потребления разведанных ресурсов нефти хватит лишь на 30–50 лет. Это очень малый срок, в течение которого вряд ли удастся кардинальным образом перестроить всю систему потребления энергоресурсов.

Низкий уровень вредных выбросов, отмечающийся при использовании газового топлива, обусловлен теми же физико-химическими характеристиками, которые обеспечивают высокую экономичность двигателям, работающим на метане. Как уже говорилось выше, минимальная концентрация бензина в топливовоздушной смеси, необходимая для воспламенения, составляет 54 г на 1 кг воздуха. В результате содержание кислорода в ней существенно снижается, что в свою очередь приводит к неполному сгоранию бензина. В результате – повышенная концентрация угарного газа (CO) в автомобильных выхлопах, которая является неизбежным спутником использования богатых смесей. Однако и высокое содержание кислорода также не является эффективным решением проблемы, поскольку в этом случае температура внутри двигателя может повышаться до 1800 °C, приводя к окислению азота, содержащегося в воздухе, и образованию веществ, чья токсичность в 41 раз (!) превышает аналогичный показатель угарного газа (напомним, что данное вещество некогда использовалось как отравляющее в военных целях). Кроме того, выхлоп бензинового двигателя содержит в себе большое количество несгоревших углеводородов и продуктов их окисления. Образование этих веществ происходит в пристеночном слое из-за того, что охлаждаемая камера, с одной стороны, препятствует нормальному испарению жидкого топлива (в результате ему просто не хватает того короткого времени, которое отпускается на рабочий цикл), а с другой – затрудняет доступ кислорода.

Применение метана в качестве моторного топлива позволяет если и не решить данную проблему полностью, то, по крайней мере, свести ее к минимуму. Это становится возможным благодаря тому, что метан сохраняет способность к воспламенению и в составе более бедных смесей. Благодаря избытку кислорода удается исключить образование угарного газа и других продуктов неполного сгорания. Количество токсичных окислов азота и других продуктов окисления существенно уменьшается за счет того, что бедные смеси сгорают при более низкой температуре, а в пристеночном слое удерживается меньше топлива. Если газобаллонное оборудование отрегулировано правильно, то выброс угарного газа в атмосферу уменьшается в 5–10 раз, углеводородов – в 2–3 раз, а окислов азота – в 1,5–2 раза. Благодаря этому удается соблюсти не только действующие, но и перспективные нормы токсичности, установленные для автомобильных двигателей (включая "Евро-3", а возможно и "Евро-4").

При сгорании любых углеводородов образуется двуокись углерода (CO_2), называемая также тепличным газом. Его выбросы тем больше, чем выше содержание углерода в топливе. У бензина данный показатель составляет 85 %, в то время как у метана – всего 75 %. Благодаря этому при его полном сгорании образуется на 13 % меньше двуокиси углерода. Это означает, что применение природного газа вместо бензина в качестве моторного топлива позволяет бороться с парниковым эффектом, который приводит к глобальному потеплению климата – одной из главных экологических проблем нашего времени.

Таким образом, используя ГБО, вы вносите свой вклад в сохранение окружающей среды и при этом существенно сокращаете свои расходы на эксплуатацию автомобиля.

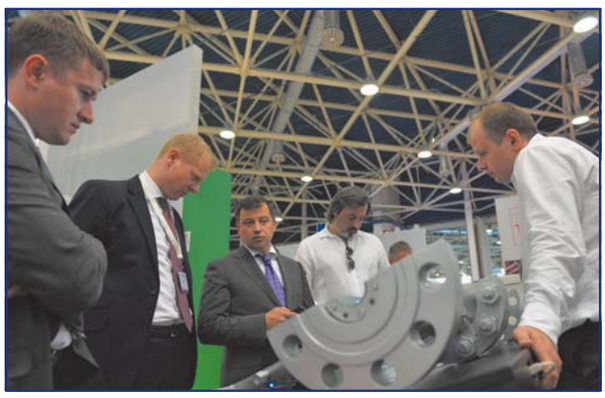
agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:57:53

Color profile: Disabled
Composite Default screen

"СКОЛКОВО" НА ВЫСТАВКЕ И КОНФЕРЕНЦИИ "НЕФТЬ И ГАЗ – 2015"

О.В. Никишенков

В Москве 23–26 июня 2015 г. прошла важнейшая для нефтегазовой отрасли России международная выставка и конференция "Нефть и газ – 2015" (MIOGE 2015). Неотъемлемой частью программы отраслевого диалога и экспозиции технологических новинок отрасли стало участие сколковских нефтегазовых проектов и менеджмента ЭЭТ кластера.



Кирилл Молодцов, замминистра энергетики РФ у стенда "ЭНГО Инжиниринг", слева от него Николай Грачев и Марат Зайдуллин

Суть одной из главных проблем нефтегазовой отрасли (очень упрощенно, конечно) сводится к следующему простому факту: месторождения Западной Сибири, которые долгое время были основной житницей России (Самотлор, Ромашковское, Лангепас, Когалым, Урай и ряд других, в основном расположенных в ХМАО) более не могут таковыми являться. Причин много, главные – истощение и обводнение. При этом новые крупные перспективные месторождения расположены далеко, в труднодоступных и суровых местах Восточной Сибири и Арктического бассейна. Их добыча становится все дороже и труднее. На конференции MIOGE, в частности, в рамках сессии "Нефтегазовая отрасль: новые вызовы и новые перспективы" (в ее работе принял участие вице-президент, исполнительный директор сколковского ЭЭТ кластера Николай Грачев) говорилось, что вполне рентабельное функционирование западно-сибирской нефтегазовой "житницы" еще можно было бы продлить лет на 70–80. Природа к нам щедра, но нужно внедрить принципиально новые технологии, инновационные решения XXI века, которые позволят этой щедростью воспользоваться эффективно и без ущерба для экологии.

Работа над сложными месторождениями, где требуются нестандартные прорывные технологии – одна из "мега–ниш", в которых инновационные компании могли бы отлично вписаться. Сергей Грачев считает, что для этого (среди прочего) нужно, во-первых, чтобы нефтегазовые компании востребовали потенциал инноваторов, который пока остается выше спроса. И, с другой стороны (вполне понятное требование), нефтегазовые ВИНКи, владеющие лицензиями на старые месторождения, должны изыскать возможность и предоставить неэксплуатируемые скважины для испытания новых технологий, направленных на повышение нефтеотдачи.

Нужны полигоны для апробирования новых технологий геологоразведки (и в Минэнерго, кстати, в свое время обещал помочь с этим вопросом), кроме того необходимо расширить практику более активного лицензирования на малые инновационные компании. Отмечалось также, что отраслью сегодня востребовано саморегулирование в малом

Представители Центра добычи углеводородов "Сколтеха" (справа Алексей Черемисин)

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:58:04

Color profile: Disabled
Composite Default screen

и среднем нефтегазовом бизнесе, которое уже на практике доказало жизнеспособность и реальность. Такие инновационные компании были достаточно широко представлены на выставке, было из чего выбрать: сколковский стенд символично расположился в центре "инновационного", 2 павильона выставки и автор насчитал там 11 экспонентов. В их числе как уже довольно хорошо известные отрасли, так и совсем новые проекты, в том числе: Novas Sk, "Вормхоллс внедрение" (Wormwholes), "Полиинформ", "Геонавигационные технологии" (GeoSteering), "ЭНГО Инжиниринг", NGT, Axel (новый резидент ЭЭТ кластера), "Уникальные волоконные приборы", "Петролеум Технолоджи".

В гостях павильона "Сколково" представители профильного комитета Госдумы, другие известные в отрасли люди

И в этом году впервые, совместно с ЭЭТ кластером, был представлен "Центр добычи углеводородов" Сколковского института науки и технологий. "На выставке наш центр представил информацию о Сколтехе, о новых перспективных проектах, выполняемых центром, об инновационных исследованиях и своей образовательной программе. Особый интерес посетители выставки проявили к исследованиям и разработкам центра в области разведки и добычи нетрадиционных месторождений нефти и газа. Наиболее важной темой для посетителей стало обсуждение инновационного подхода к образованию в "Сколтехе" и к перспективам открывающимся студентам и исследователям в центре добычи углеводородов. Сотрудники центра обсудили с представителями индустрии возможные совместные проекты и ознакомились с технологическими трендами и вызовами в нефтегазовой отрасли", – сказал Алексей Черемисин, замдиректора ЦНИО по экспериментальным исследованиям, Центра "Сколтеха" по добыче углеводородов.

Марат Зайдуллин, руководитель Нефтегазового центра кластера энергоэффективных технологий Фонда "Сколково", отметив роль "Сколтеха" в экспозиции, подчеркнул также, что сколковские проекты на форуме выступили достойно и привлекли внимание посетителей (в том числе зарубежных), а также руководства отрасли: экспозицию посетил Кирилл Молодцов, зам. министра энергетики России. Молодцов курирует в Минэнерго департамент добычи и транспортировки, а также департамент переработки нефти и газа. Чиновник Минэнерго, по словам Зайдуллина, обратил серьезное внимание на несколько участников ЭЭТ кластера "Сколково", в том числе на компании "ЭНГО Инжиниринг", а также новичка кластера Axel, просил информировать министерство о развитии проектов, а также пригласил молодых инженеров к участию в других форумах.

"Мы собираемся формировать вокруг "Сколково" целый кластер нефтесервисных компаний, который будет предоставлять полный спектр услуг по сопровождению, геологоразведке и бурению скважин, и у нас есть хорошая основа для этого, при этом ряд наших резидентов работает над уникальными технологиями, которые ранее были доступны только в режиме импорта", – сказал Марат Зайдуллин. Название нефтегазового центра, про который говорил Марат Зайдуллин, было продемонстрировано посетителям MIOGE (как одно из названий, отраженных в оформлении стенда "Сколково"). Во второй день форума Николай Грачев, выступая на конференции форума, представил Нефтегазовый центр нефтяникам и газовикам, впервые анонсировав его на высоком отраслевом уровне.

Команда Axel у своего стенда в павильоне "Сколково" на MIOGE-2015

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:58:14

Color profile: Disabled
Composite Default screen

"ГАЗПРОМ" И "КАМАЗ" РАЗВИВАЮТ СОТРУДНИЧЕСТВО

В рамках Петербургского международного экономического форума Председатель правления ОАО "Газпром" Алексей Миллер и генеральный директор ОАО "КАМАЗ" Сергей Когогин подписали соглашение о стратегических направлениях сотрудничества в области расширения использования природного газа в качестве моторного топлива.

Соглашение направлено на обеспечение потребностей российского рынка в современной газомоторной технике и оборудовании. В соответствии с документом стороны будут реализовывать совместные планы в области импортозамещения при производстве оборудования и компонентов, необходимых для развития газомоторной инфраструктуры и выпуска газомоторной техники. Особое внимание будет уделено качеству продукции.

Документ также предполагает реализацию совместных проектов по переводу существующих логистических маршрутов магистральных и региональных перевозок ОАО "Газпром" и ОАО "КАМАЗ" на использование газомоторной техники.

"Для развития российского рынка газомоторного топлива необходимо, чтобы в стране выпускалось достаточно современной автотехники на природном газе. Это должен быть массовый и конкурентоспособный продукт в интересах всего российского общества. Поэтому наше сотрудничество с КАМАЗом как крупнейшим отечественным автопроизводителем носит стратегический характер", — сказал Алексей Миллер.

ДЛЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ ЗАПРАВЩИКОВ

На строящихся газозаправочных станциях компании "Газпром газомоторное топливо" в Зеленодольске, Нижнекамске и Бугульме оборудуют отдельные колонки для наполнения передвижных автомобильных газовых заправщиков (ПАГЗ).

Компания "Газпром газомоторное топливо" приступила к монтажным работам на объектах в Республике Татарстан. В течение месяца на АГНКС установят основное технологическое оборудование. Каждый проект станции предусматривает наличие отдельной площадки с газонаполнительной колонкой для заправки ПАГЗ.

В Республике Татарстан расположено много предприятий – потенциальных потребителей газомоторного топлива, которые находятся в удалении от стационарных АГНКС. В связи с этим, компания "Газпром газомоторное топливо", при создании газозаправочной инфраструктуры в регионе, предусматривает возможность доставки топлива с помощью ПАГЗ к местам работы специальной и сельскохозяйственной техники.

В целом, станция в Нижнекамске будет укомплектована двумя компрессорами производительностью по 1200 м^3 в час каждый. Заправка транспорта природным газом будет осуществляться с шести заправочных постов. На АГНКС в Зеленодольске и Бугульме установят два компрессора мощностью 900 м^3 в час каждый. Обе станции будут отпускать компримированный природный газ с четырех заправочных постов.

Сдача объектов в эксплуатацию запланирована на III квартал 2015 года.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:58:28

Color profile: Disabled
Composite Default screen

CNH INDUSTRIAL И ВЫСТАВКИ EXPO-2015

Концерн CNH Industrial предоставил 64 единицы коммерческого транспорта Iveco и Iveco Bus для выставки Expo Milano 2015. Торжественная передача прошла в Милане. Техника будет использоваться в качестве транспорта для гостей и участников, а также для обслуживания выставочных площадей на протяжении всех шести месяцев мероприятия.

Концерн CNH Industrial, официальный партнер выставки Expo Milano 2015, предоставил организаторам 64 единицы коммерческого транспорта Iveco и Iveco Bus. Часть техники укомплектована двигателями, работающими на сжатом природном газе.

Официальная передача прошла в Милане при участии главы бренда Iveco Пьера Лаутта, директора администрации города Джузеппе Томарчио и генерального директора выставки "Expo 2015" Пьеро Галли.

"Мы очень рады продемонстрировать возможности нашей техники в рамках столь грандиозного мероприятия. Главная тема выставки – "Питание Планеты, энергия для жизни" – затрагивает такие важные вопросы, как устойчивая мобильность и уважение к окружающей среде. Эти принципы являются основополагающими при разработке коммерческого транспорта компаниями Iveco и Iveco Bus – ключевыми европейскими поставщиками транспортных решений, работающих на альтернативных видах топлива", – прокомментировал Пьер Лаут.

Компания AMSA, специализирующаяся на вывозе бытовых отходов, уборке улиц и санитарных услугах, предоставила для выставки 55 автомобилей из модельного ряда Daily, Stralis и Eurocargo. В свою очередь транспортный оператор Arriva Italia, предоставила семь городских газовых автобусов Urbanway CNG и два микроавтобуса на базе Daily, которые используются для транспортировки посетителей по территории выставки.

"Газовый коммерческий транспорт сам по себе является экологичным. А если заправлять его биометаном, который получают из органического сырья, то негативное воздействие на окружающую среду можно практически свести к нулю", – пояснил Лаутт.

Биометан – передовой источник альтернативной энергии, который CNH Industrial взял на вооружение для осуществления стратегии устойчивой мобильности. Он позволяет значительно сократить выброс углекислого газа в атмосферу, а также привести характеристики транспорта в соответствие с новыми требованиями ЕС.

CNH Industrial представил на "Expo 2015" большое количество инновационных разработок, в числе которых и экологичный павильон устойчивого земледелия New Holland Agriculture. Кроме того, концерн выступил спонсором американского павильона American Food 2.0 ("Американские продукты питания 2.0"), в котором будет представлена сельскохозяйственная техника марки Case IH и строительная техника Case.

Павильон устойчивого земледелия New Holland Agriculture демонстрирует основные принципы стратегии Clean Energy Leader (лидерство в области возобновляемой энергии). Ее цель заключается в переводе сельскохозяйственного сектора на возобновляемые источники энергии, в частности биометан. В качестве примера техники, способной работать на альтернативных источниках энергии, компания представила трактор T6 Methane Power, укомплектованный газовым двигателем.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:58:41

Color profile: Disabled
Composite Default screen

ПИЛОТНЫЙ СПГ-ПРОЕКТ

19 июня в рамках Петербургского международного экономического форума ООО "Газпром газомоторное топливо" и ОАО "КАМАЗ" подписали Дорожную карту проекта по созданию сети КриоАЗС на пилотном маршруте Набережные Челны – Магнитогорск. Строительство сети будет синхронизировано с внедрением СПГ-транспорта производства ОАО "КАМАЗ" на данном логистическом маршруте. Срок реализации проекта – IV квартал 2017 года.

Первым этапом сотрудничества сторон станет предпроектная проработка, которая определит предварительную схему размещения газозаправочной инфраструктуры, потенциальный объем потребления газомоторного топлива на данном логистическом маршруте, а также количество газового транспорта для обеспечения грузоперевозок.

По предварительным расчётам сторон, объем автопарка, задействованного на маршруте, составит порядка 100 ед., а ежегодный объем потребляемого СПГ превысит 2,2 тыс. т.

По итогам ТЭО "Газпром газомоторное топливо" выполнит проектирование и строительство сети КриоАЗС на маршруте Набережные Челны – Магнитогорск. ОАО "КАМАЗ", в свою очередь, проведет опытно-конструкторские работы и организует производство автотехники, работающей на сжиженном природном газе, создаст сервисную инфраструктуру для её обслуживания.

"Реализация пилотного проекта совместно с ОАО "КАМАЗ" позволит нам выработать комплексные решения, которые в перспективе будут применяться при создании как федеральных, так и международных газомоторных коридоров", – отметил генеральный директор компании "Газпром газомоторное топливо" Михаил Лихачев.

agzk8.15(1-56).ps
agzk8.2015(1-56)
4 * æ 2015 *. 10:58:46