АГЗК + АТ

АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо

Международный научно-технический журнал

№ 12 (93) 2014 г. Издаётся с января 2002 г. Периодичность – ежемесячно

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

Илолов А.М., Третьяков В.Ф., Талышинский Р.М.
Превращение этанола в дивинил на катализаторах ЦАК-16 и К-64....3

Потапенко М.С., Потапенко Е.С.
Снижение затрат ЗАО «Осколцемент» путем перевода техники завода на газомоторное топливо....13

Николаев А.И.
Механизм образования углеродных нановолокон из углеводородов и монооксида углерода....19

Ерохов В.И.
Совершенствование экологических параметров современных дизелей....23

Мамаева Т.А., Мельников В.Б., Федорова Е.Б.
Выбор и применение уравнений состояния для исследования парожидкостного равновесия компонентов сжиженного природного газа....33

Патрахальцев Н.Н., Савастенко А., Аношина Т., Камышников Р.
Повышение экономических и экологических качеств транспортного дизеля при работе на режимах малых нагрузок и холостых ходов....41

Инфраструктура – фундамент развития газомоторной отрасли....48

Мария Маслова
Андрей Бочаров: «Волгоградская область станет пилотной территорией по развитию рынка газомоторного топлива»....50

Количество заявок по программе субсидирования закупок газомоторной техники превысило объем финансирования....50

Рынок газомоторного топлива Республики Беларусь получит новый вектор развития....51

Совет директоров рассмотрел вопрос о ходе работ по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива....52

21-я Московская международная выставка «АВТОКОМПЛЕКС-2014» (Автозаправочный комплекс. Автотехсервис. Гараж и паркинг)....53

Водородную «Тойоту» отправили на ралли....55

Инженеры Hyundai встроили электромотор в коробку передач....56

В Омске появилась машина, ездящая на шишках и навозе....56

Учредитель –
ООО «Издательство Машиностроение»

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

Зам. главного редактора
Н.В. Нефёдова

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 Машиностроение»)
д.х.н. **Р.М. Талышинский** (РАН ИНХС, г. Москва)
академик НАН РК, **Е.М. Шайхутдинов**
(Респ. Казахстан, г. Алматы)

Редактор:
О.А. Филоретова

Компьютерная верстка
А.В. Кубрак

Адрес и телефон редакции:
107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4
Тел. 8 (499) 268-41-77
E-mail: info.agzk-at@mashin.ru
mashpubl@mashin.ru
www.mashin.ru

Подписано в печать 15.12.2014
Формат 60x88 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.

© Издательство «Машиностроение», «АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо», 2014

АГЗК + АТ

АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо

Международный научно-технический журнал

№ 12 (93) 2014 Published from January, 2002 Periodicity – monthly

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

CONTENTS

Ilolov A. M., Tretyakov, V. F., Talshynskaya R. M.
The conversion of ethanol to butadiene the catalysts CAC-16 and K-64 3

Potapenko M. S., Potapenko E. S.
Cost reduction CJSC «Oskolcement» by the translation machinery of the plant to natural gas fuel 13

Nikolaev A. I.
The mechanism of formation of carbon nanofibers from hydrocarbons and carbon monoxide....19

Yerokhov V. I.
Improvement of the environmental parameters of modern diesel engines....23

Mamaeva T. A., Melnikov V. B., Fedorova, E. B.
Selection and application of equations of state to study the liquid-varor equilibrium components of liquefied natural gas 33

Patrakhaltsev N.N., Savastenko A.A., Anoshina T.S., Kamishnicov R.O.
Raising of qualities of economy and ecology of transports diesel during light loads regimes....41

Infrastructure is the Foundation of the development of the NGV industry 48

Maria Maslova
Andrey Bocharov: «Volgograd region will be a pilot territory development of the gas fuel market» 50

The number of applications for the subsidy program procurement CNG vehicles have exceeded the amount of funding....50

The gas fuel market of the Republic of Belarus get a new vector of development 51

The Board of Directors reviewed progress expanding the use of natural gas as motor fuel....52

21st Moscow international exhibition AUTOCOMPLEX-2014» (Petrol complex. The vehicle services. Garage and Parking) 53

Hydrogen «Toyota» was sent to rally 55

The Hyundai engineers have built the motor in the gearbox 56

In Omsk, a car, riding in cones and manure....56

Founder –
LLC «Publishers Machinostroenie»

EditorCinCchief:
V.F. Tretyakov – academician of RAES, doctor of chemical sciences, professor

Deputy editor
N.V. Nefedova

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 **Y.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 «Publishers Machinostroenie»)
doct. of chem. sc. **R.M. Talyshinsky** (TIPS RAS, Moscow)
Academician of the NAS RK **E.M. Shaikhutdinov** (Kazakhstan Resp., Almaty)

Editor:
O.A. Filoretova

Computer Design
A.V. Kubrak

Address and phone edition:
107076, Moscow, Stromynsky per., building 4
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"

©"Mashinostroenie Publishers", "Autogas filling complex + alternative fuel", 2014

ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭТАНОЛА В ДИВИНИЛ НА КАТАЛИЗАТОРАХ ЦАК-16 И К-64

Илолов А.М., Третьяков В.Ф., Талышинский Р.М.

На основе моделирования кинетики превращения этанола в дивинил и изучения спектральных характеристик катализаторов ЦАК-16 ($ZnO/\gamma Al_2O_3$) и К-64 ($MgO\text{-}SiO_2$) обобщены основные тенденции в разработке эффективных каталитических систем. Показано кинетическое влияние оксида магния на стехиометрический базис итоговых маршрутов за счет подавления образования этилена. Изучено распределение оксида цинка в ЦАК-16 в зависимости от его генезиса под влиянием связующего ингредиента – нитрата алюминия – при пропитке $\gamma\text{-}Al_2O_3$ водным раствором нитрата цинка. Рентгенофазовым и элементным анализом, а также диффузной электронной сканирующей микроскопией показано распределение цинка в каталитической матрице ЦАК-16 и выявлены основные фазовые характеристики К-64.

Ключевые слова: кинетика, спектральный анализ, катализатор, оксид магния, оксид цинка, оксид кремния, оксид алюминия, этанол, дивинил, этилен, стехиометрический базис итоговых маршрутов, селективность, саморегенерация, инициатор.

THE CONVERSION OF ETHANOL TO BUTADIENE THE CATALYSTS CAC-16 AND K-64

Ilolov A. M., Tretyakov, V. F., Talshynskaya R. M.

Keywords: kinetics, spectral analysis, catalyst, magnesium oxide, zinc oxide, silicon oxide, aluminum oxide, ethanol, butadiene, ethylene, stoichiometric basis of the final routes, selectivity, self-regeneration, the initiator.

Введение

Все типы классических механизмов, предложенных для процесса превращения этанола в дивинил, известные с 30-х гг. прошлого века, базируются только на медленной стадии образования ацетальдегида по Горину и Ниямме [1–3]. Однако проведенные нами кинетические исследования механизма реакции показали, что при использовании $\gamma\text{-}Al_2O_3$ медленными стадиями, наряду с образованием ацетальдегида, является образование этилена и бутиленов.

В настоящей публикации нами доказан тот факт, что на цинк-алюминиевой оксидной системе механизм, предложенный Лебедевым, основанный на взаимодействии образующихся этилена и ацетальдегида, имеет право на существование, а также открыт новый ранее не наблюдавшийся канал образования дивинила через димеризацию этилена с последующим дегидрированием бутиленов.

С.В. Лебедевым было установлено, что ацетальдегид, этилен, альдоль и кротоновый альдегид принимают участие в образовании дивинила и повышают выход его на пропущенный этиловый спирт. Систематическое исследование этого вопроса проводилось чуть позднее Ю.А. Гориным [3] после усовершенствования катализатора превращения этанола. Его классическое представление о механизме процесса можно представить в виде последовательных превращений:

1. С образованием ацетальдегида на дегидрирующем компоненте катализатора:

$$CH_3\text{–}CH_2OH \rightarrow H_2 + CH_3\text{–}CHO.$$

2. Конденсацией ацетальдегида и образованием кротонового альдегида:

$$CH_3\text{–}CHO + CH_3\text{–}CHO \rightarrow H_2O + CH_3\text{–}CH{=}\ CH\text{-}CHO.$$

3. Восстановлением карбонильной группы кротонового альдегида водородом этилового спирта с образованием кротилового спирта:

$$CH_3\text{–}CH{=}\ CH\text{-}CHO + H_2 \rightarrow CH_3\text{–}CH{=}\ CH\text{-}CH_2OH.$$

4. Дегидратацией кротилового спирта с перегруппировкой двойных связей и образованием целевого продукта:

$$CH_3\text{–}CH{=}\ CH\text{-}CH_2OH \rightarrow H_2O + CH_2{=}CH\text{–}CH{=}CH_2.$$

Однако в контактном газе содержалось около 30 различных соединений, в связи с чем задача селективности в процессе получения дивинила стояла довольно остро. Проблема состояла не только в изучении механизма основного канала образования дивинила в соответствии с классическими представлениями, но и в управлении всем множеством ключевых реакций для получения максимально возможной селективности при реализации и развитии технологии процесса.

Исследование механизма процесса тесно связано с изучением генезиса катализатора, в связи с чем особое внимание уделено исследованию структуры поверхности катализаторов различной природы.

Изучение кинетики и механизма семимаршрутного процесса превращения этанола в процессе Лебедева

Полный кинетический анализ образования ключевых веществ участников реакции был осуществлен впервые авторами работы [4], в которой стехиометрический базис итоговых уравнений был дополнен двумя дополнительными кинетическими каналами образования дивинила из этилена и бутиленов.

I $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$

II $C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$

III $CH_3CHO + C_2H_4 \rightarrow \underline{C_4H_6} + H_2O$ *(канал Лебедева совм. с маршрутами I и II)*

IV $CH_3CHO + C_2H_4 \rightarrow C_4H_8O$

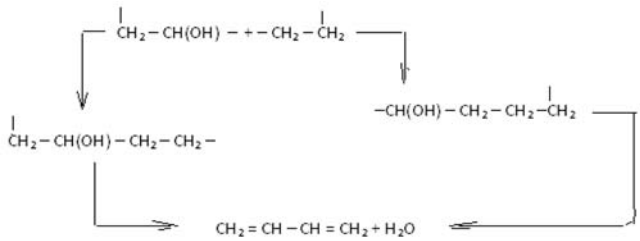
V $2CH_3CHO + H_2 \rightarrow \underline{C_4H_6} + 2H_2O$ (*классический канал Горина–Нияме, совм. с II*)

VI $2C_2H_4 \rightarrow C_4H_8$

VII $C_4H_8 \rightarrow \underline{C_4H_6} + H_2$ (*авторская гипотеза, совм. с маршрутами I и VI*)

При этом было установлено [4] с помощью предложенной кинетической модели, что вклад классического механизма по Горину [3] составляет примерно 80 % от селективности образования дивинила, а остальные 20 % обязаны превращениям через этилен, по механизму, предложенному Лебедевым [1] и через бутилены [4].

Детальная химическая последовательность превращений в итоговых маршрутах стехиометрического базиса кинетического механизма показана ниже:



Детальная химическая последовательность превращений в итоговых маршрутах стехиометрического базиса кинетического механизма показана ниже в соответствии с версией механизма целевого маршрута, сводимая к маршруту III, предложена Лебедевым [1]:

Число Гориутти (количество итоговых маршрутов) исходя из стадийной схемы (см ниже) равно:

$$P = S - N + 3 = 16 - 12 + 3 = 7,$$

где S – число стадий; N – число интермедиатов; 3 – число разновидностей центров (Z, ZH и ZO), соответствующих числу дополнительных условий стационарности.

Стадийная схема механизма приведена в табл.1.

Таблица 1

Стадийная схема процесса превращения этанола на $ZnO/\gamma Al_2O_3$ катализаторе

	Стадии	Стехиометрические числа стадий по маршрутам						
		I	II	**III**	IV	**V**	VI	**VII**
1*	$C_2H_5OH + Z \rightarrow C_2H_4Z + H_2O$	1	0	0	0	0	0	0
2	$C_2H_4Z \leftrightarrow C_2H_4 + Z$	1	0	0	0	0	-1	0
3*	$C_2H_5OH + ZH \leftrightarrow CH_3CHOZH + H_2$	0	**1**	0	0	0	0	0
4	$CH_3CHOZH \leftrightarrow CH_3CHO + ZH$	0	1	-1	0	-1	0	0
5*	$CH_3CHOZH + C_2H_4 \rightarrow C_4H_6ZH + H_2O$	0	0	**1**	0	0	0	0
6	$C_4H_6ZH \leftrightarrow C_4H_6 + ZH$	0	0	1	0	1	0	0
7	$C_2H_4 + ZO \rightarrow C_2H_4ZO$	0	0	0	1	0	0	0
8*	$CH_3CHO + C_2H_4ZO \rightarrow C_4H_8OZO$	0	0	0	1	0	0	0
9	$C_4H_8OZO \leftrightarrow C_4H_8O + ZO$	0	0	0	1	0	0	0
10	$CH_3CHOZH + CH_3CHO \rightarrow CH_3CHOHCH_2CHOZH$	0	0	0	0	1	0	0
11	$CH_3CHOHCH_2CHOZH \rightarrow CH_3CH{=}CHCHOZH + H_2O$	0	0	0	0	1	0	0
12*	$CH_3CH{=}CHCHOZH + H_2 \leftrightarrow C_4H_6ZH + H_2O$	0	0	0	0	**1**	0	0
13*	$C_2H_4Z + C_2H_4 \rightarrow C_4H_8Z$	0	0	0	0	0	**1**	0
14	$C_4H_8Z \leftrightarrow C_4H_8 + Z$	0	0	0	0	0	1	-1
15*	$C_4H_8Z \leftrightarrow C_4H_6Z + H_2$	0	0	0	0	0	0	**1**
16	$C_4H_6Z \leftrightarrow C_4H_6 + Z$	0	0	0	0	0	0	1

* медленные стадии в итоговых маршрутах.

Известно, что под влиянием оксида магния подавляется образование этилена [5]. Отсюда становится понятным, что при полном подавлении этилена мы получаем классический механизм Горина, и вся селективность образования дивинила должна в этом случае быть обязана II и V маршруту. К этому механизму наиболее близок процесс, осуществляемый на промышленном катализаторе К-64, включающем композицию $MgO–SiO_2$. Однако на этом катализаторе, равно как и на первоначальном катализаторе Лебедева, состоящем из оксидов цинка и αAl_2O_3, оптимальная объемная скорость жидкого потока на которых не более 1,5 $ч^{-1}$, невозможно использование пероксида водорода, поскольку увеличивается время контакта (точнее, время пребывания в реакторе), и, как следствие, гибнут ак-

тивные радикалы $^{\bullet}OH$ и $HO_2^{\bullet}$, не доходя до активных центров в приповерхностных слоях. В случае катализатора ЦАК-16, состоящего преимущественно из оксида цинка и γ-Al_2O_3, механизм меняется, поскольку подключаются стадии образования этилена и бутиленов. При этом добавляются до 20 % от общей селективности образования дивинила маршруты, *отвечающие механизму Лебедева*, когда проявляется взаимодействие фрагментов этилена и ацетальдегида и маршруты, согласующиеся с *нашей гипотезой* образования дивинила по цепочке $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_4H_8 \rightarrow C_4H_6$. На катализаторе ЦАК-16 оптимум конверсии этанола (42 % – технологическое стандартное ограничение) достигается при температуре 400–410 °С и объемной скорости 3 $ч^{-1}$. В этом случае время пребывания в реакторе сокращается и вероятность столкновения радикалов со стенками сосуда резко снижается, что приводит к эффекту инициирования дополнительных каналов образования дивинила, достижению высокого значения селективности процесса и повышению времени реакционного цикла без регенерации катализатора.

Спектрокинетическими исследованиями [4] установлено ***in situ***, что пероксид водорода влияет на гидроксилирование поверхности катализатора $ZnO/\gamma Al_2O_3$. Отсюда можно заключить, что разложение пероксида водорода, происходящее по простому и радикальному механизму:

$$H_2O_2 \rightarrow 2OH^{\bullet}$$
$$H_2O_2 \rightarrow H_2O + O,$$

приводит к вероятности взаимодействия гидроксилов с атомарным кислородом в приповерхностном слое катализатора с образованием пероксидного радикала

$$OH^{\bullet} + O \rightarrow HO_2^{\bullet},$$

ответственного, как отмечалось в работе [4], за инициирование целевого превращения этанола в дивинил. Высокая вероятность осуществления подобного рода разложения пероксида водорода по приведенному механизму согласуется с представлениями [6, 7], в соответствии с которыми, инициирование реакции пероксидом водорода может быть обычным (без изменения стехиометрии в системе) и индуцированным. При этом стехиометрический механизм распада H_2O_2 до H_2O и O_2 может не меняться, если активные центры, образующиеся в системе *(благодаря присутствию другого вещества)*, будут индуцировать распад пероксида водорода. Однако при индуцированном распаде H_2O_2 (в условиях, когда концентрация вводимого пероксида водорода достаточно высока) обязательно изменится стехиометрия реакции, и это обстоятельство сразу позволит установить наличие в системе подобного распада. Действительно, если при обычном разложении H_2O_2 для образования H_2O и O_2 требуется участие двух ее молекул, то теперь из-за постоянного ввода в систему $^{\bullet}OH$ извне (проточный реактор) достаточно участия даже ***только одной молекулы пероксида*** [7].

Однако если рассмотреть ту же схему механизма разложения пероксида водорода на поверхности катализатора с доменом, выраженным как O–Al–OH, то становится понятным синергизм, возникающий при инициировании каталитической реакции. При этом для замыкания каталитического цикла по второму маршруту необходимо добавить нелинейную стадию взаимодействия двух центров поверхности катализатора (2Z) с молекулой пероксида водорода:

$ZOH \rightarrow {}^{\bullet}OH + Z$	|2|	|2|
$H_2O_2 + {}^{\bullet}OH \rightarrow H_2O + HO^{\bullet}_2$	|2|	|0|
$HO^{\bullet}_2 + HO^{\bullet}_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$	|1|	|0|
$2Z + H_2O_2 \rightarrow 2ZOH$	|0|	|1|

$$2ZOH + H_2O_2 = 2Z + 2H_2O + O_2$$
$$H_2O_2 = {}^{\bullet}OH + {}^{\bullet}OH$$

Механизм в таком случае сводится к синергетическому инициированию каталитической реакции. Второй маршрут этой схемы протекает по каталитическому механизму с выходом гидроксильных радикалов в объем. Первый маршрут, механизм которого предложен Т.М. Нагиевым, приводит к разложению пероксида водорода при контакте с катализатором. Сочетанием этих двух механизмов можно интерпретировать наглядно наблюдаемый в опыте синергизм, основанный на сопряжении синхронно протекающих реакций.

При протекании ускоряемой реакции в отсутствие катализатора механизм инициирования сводится к простому химическому сопряжению [7], а в присутствие катализатора происходит более сложная каталитическая интерференция.

Среди предложенных катализаторов середины прошлого столетия отмечаются индивидуальные оксиды на основе алюминия и железа, бинарные оксиды Al_2O_3–ZnO, ZrO_3–ThO_3, Al_2O_3–Cr_2O_3, Al_2O_3–MgO, Al_2O_3–CaO, а также тройная алюмо-железо-хромовая композиция. Однако наибольшую активность проявил катализатор MgO–SiO_2 (молярное соотношение 1:1) приготовленный исходя из этил-ортосиликата o-$Si(C_2H_5)_4$ и нитрата магния и промотированный 0.1% Na_2O, при 350 °С, продемонстрировавший высокую конверсию (100 %) и селективность (87 % от теоретического выхода) в образовании дивинила [8, 9]. Однако при реализа-

ции процесса, наряду с показателями активности и энергозатрат, необходимо учитывать длительность реакционного цикла без регенерации и срок службы катализатора, которые, к сожалению, исследователями цитированных работ не указаны.

Из работ [5, 9] известно, что введение в катализатор оксида магния подавляет образование этилена. Отсюда понятно, почему катализатор К-64, состоящий преимущественно из оксида магния, а также оксида кремния, имеет преимущество в неинициированном процессе превращения этанола в дивинил.

Сопоставление показателей процесса превращения этанола в дивинил на разных катализаторах приведено в табл. 2.

Таблица 2

Показатели процесса получения дивинила при испытании пилотной установки с применением различных катализаторов и инициатора

Катализатор	Температура, °С	LHSV $ч^{-1}$	Конверсия, %		Выход, %		*Селективность, %		Стабильность, ч	
			H_2O_2	–	H_2O_2	–	H_2O_2	–	H_2O_2	–
ЦАК-16	400-410	3	42	42	20	15	47,6	35,7	200	5
К-64	410-420	1	42	42	18,5	18,5	44	44	11,5	9

* От теории (58,7%) выход равен отношению селективности к теоретическому выходу на разложенный этанол (47,6/58,7)*100=81%

В то же время необходимо иметь в виду, что на некоторых образцах кремний-магниевых катализаторов возможно быстрое снижение активности, что можно объяснить, в частности, переходом процесса во внутридиффузионную область из-за резкого накопления продуктов уплотнений. В отличие от катализатора $ZnO/\gamma Al_2O_3$ (ЦАК-16) катализатор на основе композиции $MgO–SiO_2$, в частности на промышленном катализаторе К-64, затруднено инициирующее действие пероксида водорода из-за того, что оптимальная объемная скорость потока LHSV, обеспечивающая заданную конверсию (42 %), составляет 1–1,5 $ч^{-1}$, а на цеолитах подобного типа ($MgO–SiO_2$) и того ниже. При такой объемной скорости значительно возрастает время контакта потока с катализатором, приводя к снижению образования гидроксилов из пероксида водорода и уменьшению влияния образующегося атомарного кислорода, влияющего на саморегенерирующие свойства каталитической системы. Именно поэтому, как видно из табл. 1 , в которой сопоставлены показатели активности, эффект действия пероксида водорода имеет место только для ЦАК-16, работающего при оптимальной объемной скорости 3 $ч^{-1}$ и выше.

Промышленный катализатор К-64 обладает достаточно высокой селективностью образования дивинила. Поэтому из трех выявленных в [4, 10] функций пероксида водорода (модифицирующей, саморегенерирующей и инициирующей) достаточно только второй для удлинения реакционного цикла. Реализация подобного эффекта хотя и ос-

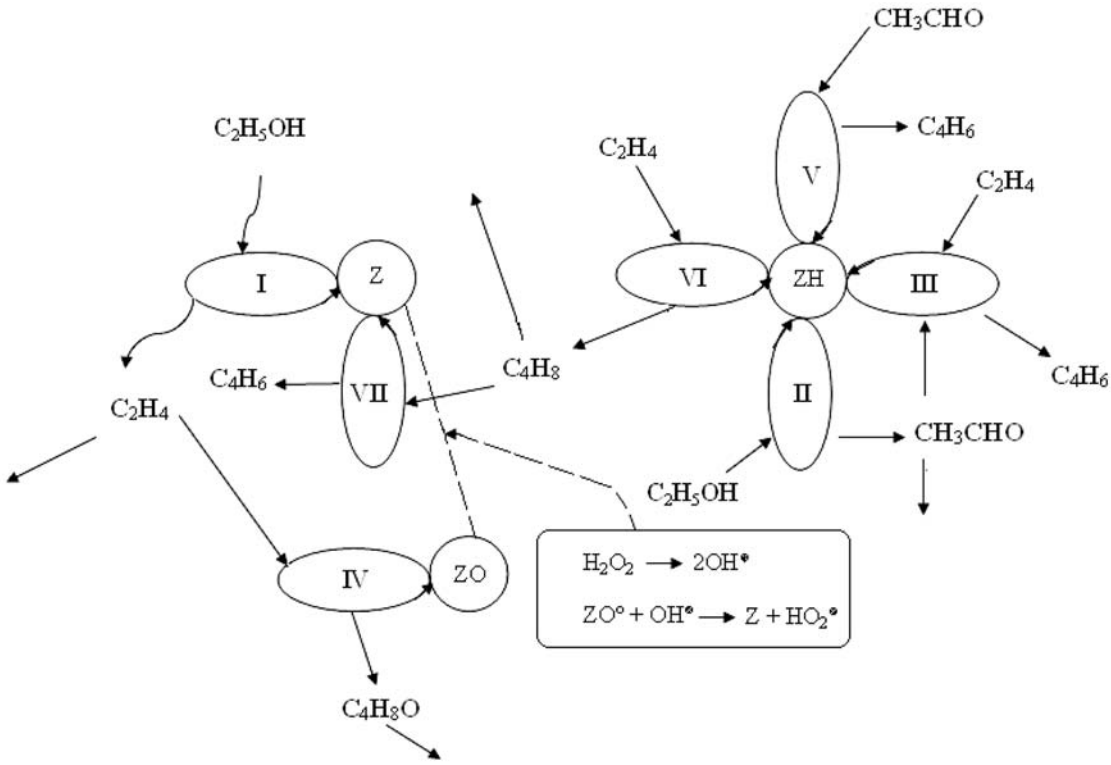
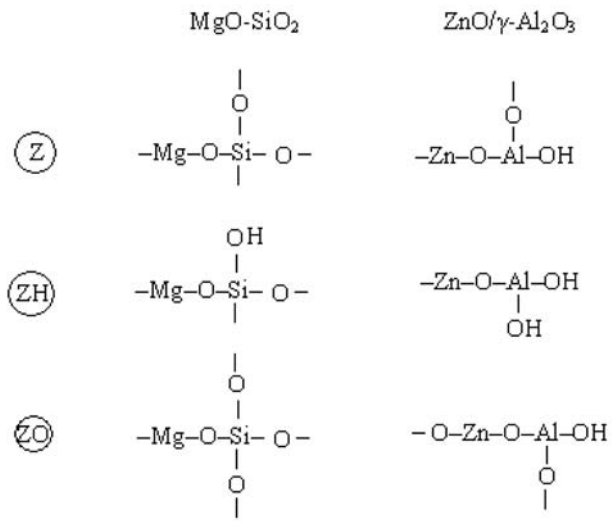


Рис. 1. *Граф механизма инициированного процесса получения дивинила из этанола.*

ложнена по указанным выше причинам, но принципиально возможна с применением послойной подачи пероксида водорода для более интенсивного насыщения гидроксильными и пероксидными радикалами каталитической поверхности.

В соответствии с теорией химического сопряжения [6, 7] и основами графоаналитического представления гетерогенно-каталитических превращений [11, 12], выявленные закономерности представлены схематически графом механизма (рис. 1).

В зависимости от степени восстановленности типовых активных центров поверхности на катализаторах рассматриваемых двух типов структурно можно представить происходящие окислительно-восстановительные процессы схематически:



При инициировании процесса центр ZO модифицируется под влиянием молекулы пероксида водорода: $H_2O_2 \rightarrow 2OH^{\bullet}$, $ZO + OH^{\bullet} \rightarrow Z + HO_2^{\bullet}$. Высвободившийся центр Z, ответственный за протекание целевых превращений, ускоряет их протекание, а частица $HO_2^{\bullet}$ инициирует процесс образования дивинила. В результате снижается выход бутаналя и возрастает селективность процесса по дивинилу.

Таким образом, при инициировании процесса пероксидом водорода снижается доля поверхностных центров ZO, и, как следствие, уменьшается концентрация бутаналя, образующегося на центрах этого типа.

В рассматриваемом процессе на ЦАК-16 медленная стадия – это образование ацетальдегида из этанола, а также два канала дополнительных – из этилена и бутиленов:

$OH^{\bullet} + O = HO_2^{\bullet}$ стадия сопряженного инициирования реакции;

$C_2H_5OH \rightarrow\rightarrow\rightarrow CH_3CHO + H_2$ *медленная стадия классического канала по Горину.*

Механизм сопряженного инициирования в реакции Лебедева с миграцией поверхностных радикалов (переход из объема в приповерхностный слой катализатора)

$$C_2H_5OH + Z \leftrightarrow C_2H_5OHZ$$
$$HO_2^{\bullet} + Z \rightarrow ZO + OH^{\bullet}$$
$$C_2H_5OH + 2ZO \rightarrow CH_3CHOZ + ZH_2O_2$$
$$CH_3CHOZ \leftrightarrow CH_3CHO + Z$$
$$ZH_2O_2 + Z \leftrightarrow 2ZOH$$

Инициирование каналов превращения этилена и бутиленов

$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$ *быстрая стадия*

$$2C_2H_4 \leftrightarrow C_4H_8$$

$C_4H_8 \leftrightarrow C_4H_6 + H_2$ *медленная стадия на ЦАК-16 (на центрах Z)*

$$HO_2^{\bullet} + Z \rightarrow Z^{\bullet}HO_2$$

$C_4H_8 \leftrightarrow C_4H_6 + H_2$ *ускорение на центрах* $Z^{\bullet}HO_2$

Более детально инициированное сопряжение стадий необходимо трактовать *как перенос энергии путем миграции активных мобильных радикалов к центрам, ответственным за медленные акты*, определяющие целевые маршруты. Именно благодаря этой энергии подвижных радикалов [7], мигрирующих по поверхности к центрам, снижается энергетический барьер медленных стадий, ответственных за образование дивинила.

Вклад механизма Лебедева в образование дивинила оценен количественно кинетическим методом. Судя по относительному вкладу ***третьего маршрута,*** отвечающего механизму Лебедева, в образование дивинила S_{r_3}, взаимодействие фрагментов разрыхленной молекулы этилена с ацетальдегидом, протекает заметно, причем сильнее проявляется при участии пероксида водорода:

$$S_{r_3} = \frac{r_3}{r_3 + r_5 + r_7} \cdot 100,\%;\ S_{r_3} = 6\% .$$

Для температуры 400 °С относительный вклад классического механизма по пятому маршруту $S_{r_5} = 83\%$, а по седьмому (образование дивинила из бутиленов) – $S_{r_7} = 11\%$. В соответствии с экспериментальными данными рассчитаны энергии активации по семи итоговым кинетическим маршрутам, значения которых приведены в табл. 3.

В процессе контактирования дегидрирующая часть катализатора К-64 способствует выделению свободного углерода, который в твердом состоянии (в виде сажи) отлагается на активной поверхности катализатора, снижая его активность. Для восстановления активности катализатор регенерируется подачей в реорты контактной печи подо-

Таблица 3

Кинетические параметры реакции [4]

Марш-рут	Константа стадии	Кинетические параметры по маршрутам реакции, с -1
I	1	$k_1 = (4{,}86 \pm 1{,}2) \cdot 10^{16} e^{\frac{-210600 \pm 2100}{RT}}$
II	3	$k_3 = (2{,}30 \pm 0{,}7) \cdot 10^{3} e^{\frac{-19050 \pm 190}{RT}}$
III	5	$k_5 = (1{,}26 \pm 0{,}3) \cdot 10^{2} e^{\frac{-13650 \pm 136}{RT}}$
IV	8	$k_8 = (2{,}29 \pm 0{,}7) \cdot 10^{2} e^{\frac{-13070 \pm 130}{RT}}$
V	12	$k_{12} = (3{,}76 \pm 1{,}0) \cdot 10^{3} e^{\frac{-6890 \pm 70}{RT}}$
VI	13	$k_{13} = (3{,}06 \pm 1{,}3) \cdot 10^{2} e^{\frac{-10650 \pm 120}{RT}}$
VII	15	$k_{15} = (2{,}90 \pm 1{,}0) \cdot 10^{38} e^{\frac{-497500 \pm 4900}{RT}}$

гретого воздуха, при этом углерод на поверхности катализатора сгорает при температуре 540 °С с выделением большого количества тепла, за счет которого повышается температура катализатора

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$$
$$2C + O_2 \rightarrow 2CO + Q$$
$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 + Q$$

Газы регенерации, содержащие продукты сгорания, выбрасываются в атмосферу.

Сырой катализатор К-64 содержит в себе до 33 % влаги механической, межкристаллической и химической (гидратной и кристаллической), а также органические примеси. Для удаления влаги и выжигания примесей проводится активация катализатора с подачей подогретого воздуха и постепенным подъемом температуры до температуры выдержки 650–690 °С.

Непрерывность процесса с использованием инициатора достигается в этой связи на синтезированных образцах, на которых обеспечиваются высокие линейные скорости потока, исключающие рекомбинацию до входа в слой катализатора образующихся радикалов $OH^{\bullet}$ и $HO_2^{\bullet}$, ответственных за наблюдаемый синергетический эффект при комбинации катализатора и инициатора. На образце, полученном на основе α-оксида алюминия, как и на катализаторе К-64, оптимальная объемная скорость для достижения оптимальных выходов дивинила составляет 1–1,2ч$^{-1}$, что ограничивает возможность инициирования этих систем с целью создания непрерывного процесса. В то же время отметим такую возможность при условии послойной подачи сырьевого потока при различных соотношениях этанола и пероксида водорода в каждый последующий слой в проточном реакторе. Однако такое технологическое решение является достаточно сложным для реализации в промышленном масштабе, в связи с чем предпочтение отдается катализатору ЦАК-16, развиваемому в наших исследованиях.

Эффективность действия инициатора, проявляется только для цинк-алюминиевого оксидного катализатора, содержащего γ-форму оксида алюминия. Эффективность пероксида водорода проявляется в подавлении коксообразования, инициировании процесса за счет сопряженной радикальной реакции в объеме гомогенного пространства и в модифицировании поверхности путем ее гидроксилирования.

Отметим, что использование пероксида водорода в качестве инициатора процесса возможно только при достаточно высоких объемных скоростях потока (более 3 ч$^{-1}$), в связи с чем достичь полученных нами эффектов на каталитических системах, предложенных в работах [13–15], не представляется возможным.

Результаты спектрального исследования катализаторов и их обсуждение

Анализ кинетики показал, что объяснение эффекта инициирования реакции пероксидом водорода связано с ограничением по объемной скорости потока, содержащего пероксид водорода. При объемных скоростях выше 2,5 ч$^{-1}$ проявляются все перечисленные эффекты, которые в итоге повышают производительность и селективность процесса по дивинилу. Поскольку катализатор на основе α-оксида алюминия имеет ограничения по объемной скорости (не более 1,5 ч$^{-1}$), то промышленный эталонный образец равновесного катализатора, как в кварцевом реакторе, так и в металле, не показал эффективности действия пероксида водорода. Не доходя до слоя поверхности катализатора в зоне испарителя, пероксид водорода превращается при этом не в радикалы $OH^{\bullet}$ и $HO_2^{\bullet}$, а только в воду и атомарный кислород, который быстро преобразуется в молекулярную форму. А содержащаяся в

исходном 30 %-ном растворе пероксида водорода вода снижает эффективность инициирования при увеличении времени контакта с катализатором.

Отметим, что С.В. Лебедевым был предложен катализатор, работающий при объемной скорости жидкого этанола не более 1,5 $ч^{-1}$ с выходом дивинила на пропущенный этанол 12–15 %, селективностью не более 30–35 %.

Позже при промышленной доработке и замене катализатора на К-64 удалось поднять показатели до 18,4 % выхода и 44 %-ной селективности, но при той же невысокой объемной скорости потока этанола (1–1,2 $ч^{-1}$). Причины повышения селективности, как установлено нашими исследованиями, согласующимися с патентом, связаны с подавлением образования этилена оксидом магния.

Проведенное нами атомно-адсорбционное изучение химического состава промышленного равновесного образца 1985 г. показало доминирование в нем магния и кремния при допировании системы алюминием, кальцием, железом, цинком, молибденом и, возможно, калием, откуда можно предположить близость состава промышленного образца к японскому варианту 1972 г. [5], развиваемого далее в [8].

Изучение атомного состава промышленного катализатора показывает наличие в нем магний кремния (табл. 4). Наличие железа и цинка, обнаруженное в равновесном образце промышленного катализатора, скорее всего связано с окалиной от стенок реактора.

Таблица 4

Элементный состав промышленного катализатора производства дивинила из этанола

Элемент	keV	Масс %	Отклонение, %	Атомный %
C	0,277	4,16	0,37	7,04
O	0,525	33,29	0,24	42,35
Mg	1,253	53,89	014	45,12
Al	1,486	0,40	0,29	0,30
Si	1,739	6,35	0,24	4,60
Ca	3,690	0,19	0,24	0,10
Fe	6,398	0,25	0,52	0,09
Zn	8,630	0,80	1,38	0,25
Mo	2,293	0,68	0,53	0,14
Итого:	–	100,00	–	100,00

На рис. 2 представлена микрофотография (СЭМ) промышленного катализатора. Из фотографии видно, что образец имеет пористую структуру и состоит из частиц, соединенных веществом, имеющим однородную консистенцию:

На рис. 3 *а* и *б*, в двух масштабах представлены спектры ЭДС исследованного участка образца, а в табл. 5 – содержание элементов, обнаруженных этим методом.

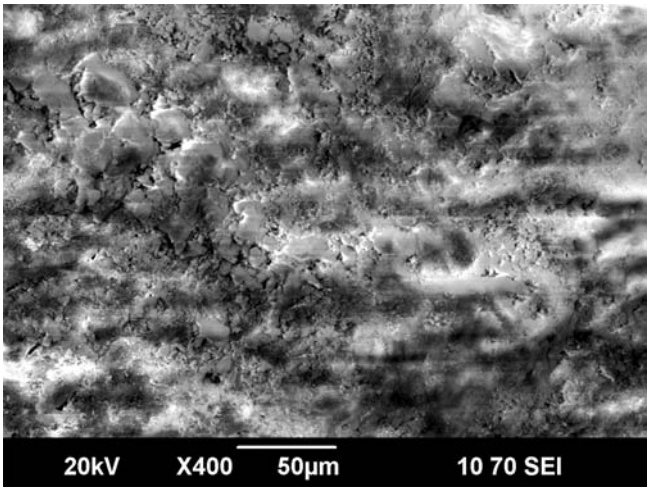
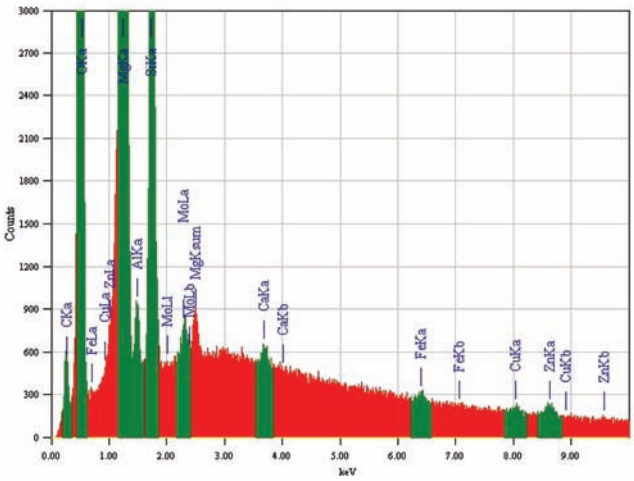
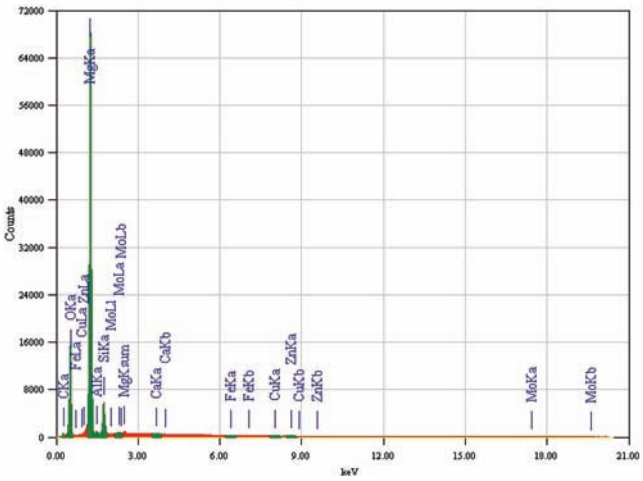


Рис. 2. *Электронная микрофотография текстуры промышленного катализатора на срезе гранулы.*



а



б

Рис 3. *ЭДС – спектр образца (распределение элементов)*

ЭДС-спектры (рис. 3 *а, б*) показывают, что в образце присутствуют линии, отвечающие основным элементам – Mg, Si и O, линия Cu, Zn связана с материалом держателя образца (латунь). Присутствие

углерода в спектре может быть обусловлено методом подготовки пробы, а также коксом, который образовался в равновесном промышленном образце. Кроме того, в промышленном образце катализатора обнаруживаются примеси Mo, Fe, Ca, Al и, возможно, Zn.

Фазовый состав образцов был исследован методом рентгенофазового анализа (РФА). Съемка проводилась на приборе Advanced D8 powder X-ray Diffractometer фирмы BRUKER с использованием CuK_{α}-излучения (λ = 0,15406 nm) по точкам с интервалом 0.1 град. и экспозицией 20 с. Регистрация дифрактограмм фиксировалась в диапазоне углов 2θ 10–100°. Результаты анализа фазового состава получены путем сравнения с данными компьютерной базы данных STOE WinXPOW.

Определение среднего размера (D) областей когерентного рассеяния (ОКР) осуществляли рентгенографическим методом, основанным на гармоническом анализе профиля дифракционных максимумов. Средний размер ОКР оценивали по формуле Селякова–Шеррера:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta},$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, K – фактор формы частицы, принятый равным 0,94, θ – дифракционный угол, β – истинное физическое уширение, определяемое как ширина рентгенографической линии на полувысоте. Ошибка измерения D составляла 5 %.

Образец промышленный

По данным РФА (рис. 4), промышленный образец представляет собой разупорядоченную фазу MgO с незначительной примесью SiO_2. Рассчитан размер ОКР для MgO, D(MgO) = 8.2 nm.

Образец ЦАК-16

По данным РФА (рис. 5) это образец представляет смесь двух фаз: основной упорядоченной фазы ZnO (размеры ОКР D(ZnO) = 42 нм) и сопутствующей разупорядоченной фазы Al_2O_3. Все размытые диффузные пики относятся к γ-Al_2O_3, размеры ОКР для которого из-за сильного наложения линий рассчитать невозможно.

В промышленном MgO–SiO_2-образце ОКР для MgO, D(MgO) = 8,2 nm, а для фазы SiO_2 пик незначителен. Это говорит о том, что эти компоненты высокодисперсны. Возможно, промышленный образец 1985 г. и был подвергнут термической обработке при повышенных температурах, однако присутствие множества компонентов, скорое всего, мешает укрупнению частиц.

Синтезированный нами ZnO/ γ-Al_2O_3-образец представляет смесь двух фаз: основная упорядоченная фаза ZnO (размеры ОКР D(ZnO) = 42 нм), т.е. частицы крупнее, чем MgO в промышленном MgO–SiO_2-образце, и сопутствующая разупорядоченная фаза γ-Al_2O_3.

Все размытые диффузные пики относятся к γ-Al_2O_3, из-за сильного наложения линий, размеры ОКР для других форм оксида алюминия рассчитать невозможно. Для γ-Al_2O_3 можно сказать, что она высокодисперсная.

Возможно, что ZnO состоит из кристаллов, а также присутствует в виде рентгеноаморфной фазы.

Электронной сканирующей спектроскопией оцененена равномерность распределения оксида цинка в матрице катализатора до и после реакции.

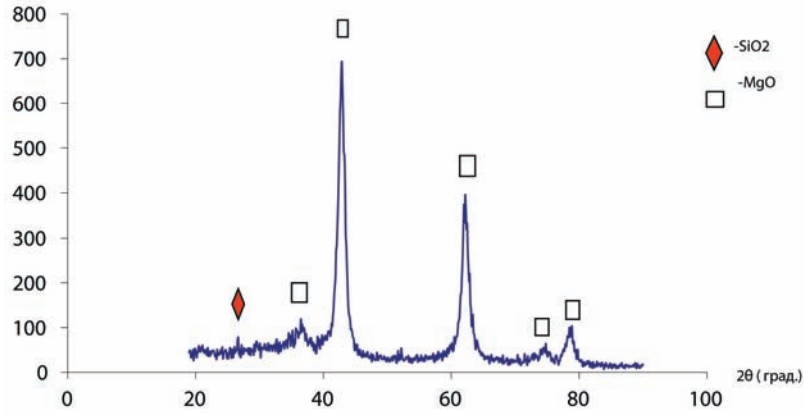


Рис. 4. Данные РФА для промышленного образца К-64

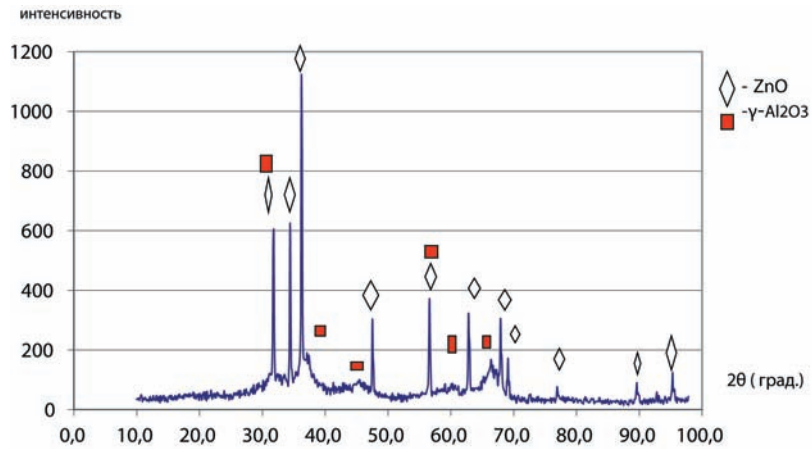


Рис. 5. Данные РФА для цинк-алюминиевого образца, синтезированного в лаборатории

Регистрацию спектров ЭДС проводили на электронном микроскопе JEOL JIB-4501, оснащенном детектором Oxford Instruments X-MAX N с активной площадью кристалла 20 мм^2. При ускоряющем напряжении 30 кВ (ток зонда 2-10 нА) добивались скорости счета около 10*10^5 имп./с и более.

Измерения концентрации проводили с использованием заводских калибровок спектрометра, рассчитанное содержание элементов в оксидной форме приводили к 100 %. **Параметры обработки.** Выполнен анализ всех элементов (максимум и минимум концентрации берется по концентрации углерода). Из концентрации углерода надо вычесть стандартную величину (по прибору в холостом опыте).

При измерении распределения активных компонентов вдоль сечения гранул катализатора после работы одну гранулу раскалывали посередине, образовавшейся поверхностью помещали перпендикулярно линзе электронного микроскопа, после чего снимали ряд спектров от поверхности к середине гранулы при одинаковых настройках и увеличении 70–100 крат.

В соответствии с рецептурой, согласно которой синтезировался катализатор ЦАК-16, в катализаторе ожидается наличие компонентов в количестве: Al_2O_3 – 74,9 %, ZnO – 25 %, K_2O – 0/1%, и ожидаемый баланс элементов с учетом стехиометрического состава оксидов будет следующим: Al – 39,62% Zn – 20,14 % K – 0,08 % O – 40,16 % итого 100 % масс. При анализе зауглероживания в отработанных образцах в первом приближении можно принять минимум концентрации углерода за нуль и.т.д.

Оксид алюминия γ-формы моделируется доменом -O–Al–OH. Это подчеркивает наличие нестехиометрических гидроксильных групп, которые могут образовываться в ходе синтеза носителя, катализатора и под влиянием реакционной среды. Такая интерпретация результатов сканирования позволяет объяснить полученные данные по балансу кислорода в катализаторе, количество которого в образце отличается от ожидаемого по стехиометрии в соответствии с рецептурой. С другой стороны, рассмотренный метод расчета позволяет оценить степень гидроксилирования поверхности по избытку кислорода по отношению к ожидаемому по стехиометрии.

Результаты электронного сканирования катализатора ЦАК-16 до и после реакции (вдоль внешней поверхности) приведены на рис. 6.

До работы катализатора ЦАК-16

Спектр	Концентрация элементов, % масс.					
	C	O	Al	K	Zn	Итого
Спектр 1	13,43	44,94	23,63	0,21	17,78	100
Спектр 2	6,84	50,59	26,07	0,18	16,31	100
Спектр 3	6,04	43,40	22,58	0,22	27,75	100

Внутренняя поверхность катализатора ЦАК-16 после работы представлена ниже на рис. 7.

Спектр	Концентрация элемента, % масс.					
	C	O	Al	K	Zn	Итого
Спектр 1	8,36	44,82	29,08	0,17	17,57	100
Спектр 2	9,12	50,37	28,59	0,16	11,75	100
Спектр 3	8,75	48,83	29,00	0,15	13,28	100
Спектр 4	7,81	45,72	30,18	0,18	16,11	100

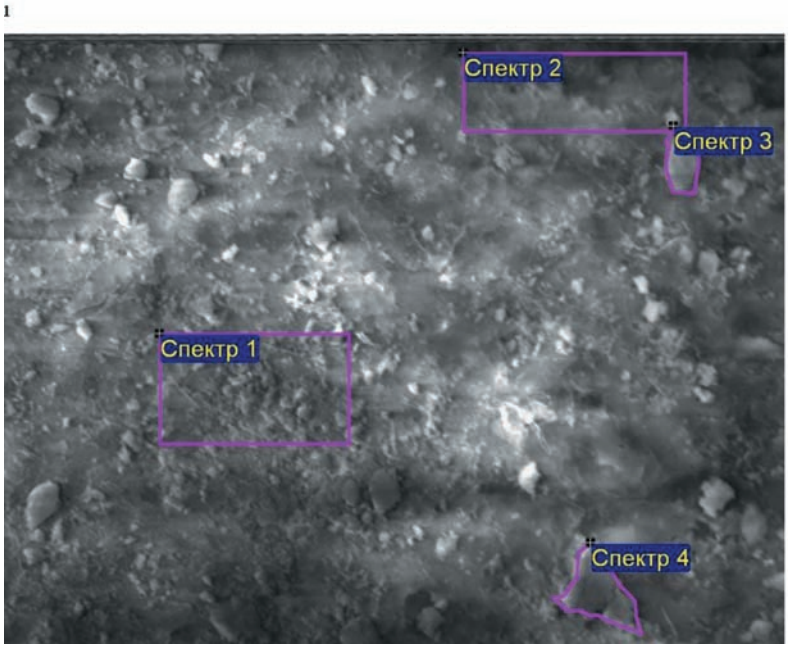


Рис. 6. *Сканирование поверхности катализатора ЦАК-16 до реакции*

Судя по совокупности приведенных спектральных данных, можно полагать, что в отличие от промышленного MgO–SiO_2-образца, характеризуемого выраженной кристаллической структурой вследствие высокотемпературной обработки в ходе синтеза, предложенный нами ZnO/ γ-Al_2O_3 наноструктурированный образец, прокаленный ниже 450-500 °С, характеризуется более высокой дисперсностью активных фаз, ответственных за катализ. Прокаливание его до 1200 °С в течение 10 ч приводит к переходу оксида алюминия в α-форму с образованием образца, работающего при объемной скорости, при которой достигается заданная (42 %) степень превращения этанола, равной численно значению объемной скорости для

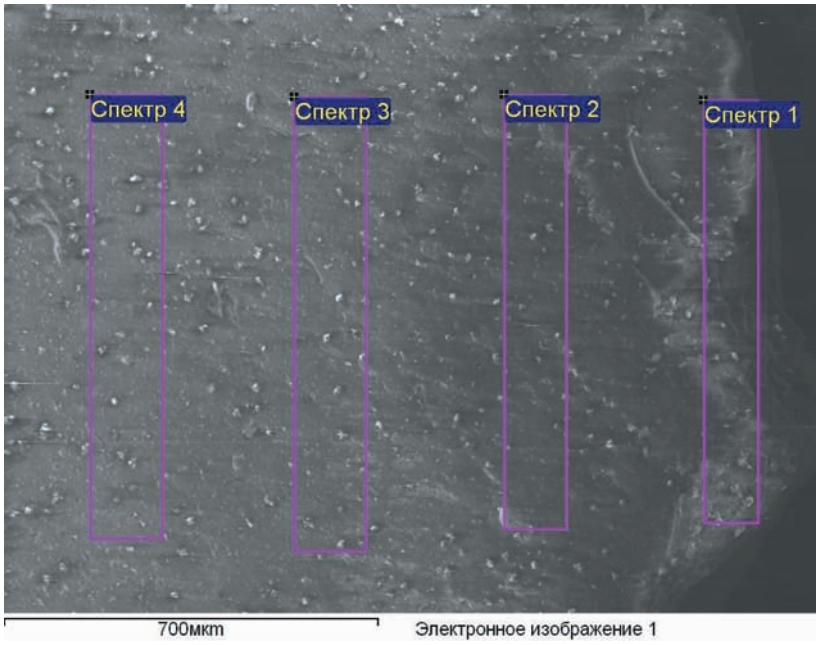


Рис. 7. Сканирование внутренней поверхности ЦАК-16 после реакции

К-64. По-видимому, низкая объемная скорость связана с невысокой удельной поверхностью образцов, что приводит к возрастанию времени контакта. При подавлении образования этилена (оксидом магния) повышение времени контакта кинетически оправдано, поскольку реализуемый механизм приближается к желаемому теоретическому сочетанию маршрутов II и V по Горину–Нияме.

Вклад остальных каналов образования дивинила при этом снижается до минимума. При работе на ЦАК-16 с объемной скоростью потока 3 $ч^{-1}$ и выше вклад механизма Лебедева и дегидрирования бутиленов имеет место с достижением высокой селективности, производительности и непрерывности процесса при условии его инициирования пероксидом водорода.

Добавление воды существенно затрудняет действие пероксида водорода, поскольку важным фактором является концентрация инициатора в потоке в открытых системах и в неравновесных условиях [16–17].

Авторы выражают благодарность сотруднику кафедры физической и коллоидной химии РГУ им. И.М. Губкина канд. хим. наук Михаилу Сергеевичу Котелеву за спектральный анализ изучаемых образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лебедев С.В.** Жизнь и труды.// ОНТИ ХИМ. ТЕОРЕТ, Ленинград, 1938, 878 с.

2. **Лебедев С.В.** / Журнал органической химии // 1931. – 111. – С. 698.

3. **Горин Ю.А.** Журнал органической химии //1946. – 16. – С. 283.

4. **Третьяков В.Ф., Талышинский Р.М., Илолов А.М., Максимов А.Л., Хаджиев С.Н.** Инициированное превращение этанола в дивинил по реакции Лебедева // Нефтехимия, 2014, Т.54. – №3. С. 195–206.

5. **Darrel J.** Butterbaugh. Use of magnesia catalysts in the production of butadiene US 2423681 A, Patented July 8, 1947, Application August 30, 1944.

6. **Нагиев Т.М..** Химическое сопряжение. М.: Наука. 1989. 216 с.

7. **Нагиев Т.М**. Взаимодействие синхронных реакций в химии и биологии. Баку, «ЭЛМ», 2001. – 404 с.

8. **Hiroo Niiyama, Saburo Morii, Etsuro Echigoya** / Butadiene formation from ethanol over Silica-Magnesia catalyst // Bull. Chem. Soc. Japan, 1972. – V. 45. – P. 655–659.

9. **Ryuichiro Ohnishi, Takao Akimoto, Kozo Tanaba** / Pronounced Catalytic Activity and Selectivity of MgO–SiO_2–Na_2O for Synthesis of Buta-1,3–diene from Ethanol // J. Chem. Soc., Chem. Commun. – 1985. – P. 1613–1614.

10. **Третьяков В.Ф., Хаджиев С.Н., Талышинский Р.М., Максимов А.Л., Илолов А.М.** Способ получения дивинила (варианты). Пат RU №2010148026, C07C, B01J от 26.11.2010, опубл. 27.01.2012.

11. **Снаговский Ю.С., Островский Г.М.** Моделирование кинетики гетерогенных каталитических процессов, М.: Химия. – 1976. – 248 с.

12. **Киперман С.Л.** Основы химической кинетики в гетерогенном катализе. М.: Химия, 1979. – 178 с.

13. **Bhattacharyya S.K., Avasthi N.** / One-step catalytic conversion of ethanol to butadiene in a fluidized bed. // J. Appl. Chemistry, 1963. – V.2. – № 1. – P. 45.

14. **Kazushi Arata, Hiromitsu Sawamura.** / The Dehydration and Dehydrogenation of Ethanol Catalyzed by TiO_2-ZrO_2 // Bull. Chem.Soc. Japan. V. 48 (11). – 1975. – P. 3377-3378.

15. **Gruver V., Sun A., Fripiat J.J.** /Catalytic properties aluminated sepiolite in ethanol conversion. // Catalysis Letters, T. 34. – 1995. – P. 359–364.

16. **Пригожин И.** Введение в термодинамику необратимых процессов. М., 1960. – 127 с.

17. **Замараев К. И**. Химическая кинетика: Курс лекций: В 3 ч. / Под ред. А. Г. Окунева Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2003. Ч. 3. 90 с.

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЗАО «ОСКОЛЦЕМЕНТ» ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ТЕХНИКИ ЗАВОДА НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

М.С. Потапенко, мастер ЗАО «Осколцемент», магистр,
Е.С. Потапенко, аспирант РГУ нефти и газа И.М. Губкина

Приведены технико-экономические расчеты по снижению затрат на производство цемента на заводе ЗАО «Осколцемент». Даны рекомендации по переводу моторной техники на газомоторное топливо завода, позволяющее выполнить требование Закона от 23 ноября 2009 года 261-ФЗ и программу энергоэффективности в Российской Федерации.

Ключевые слова: цементная промышленность, энергоресурсы, эффективность, газомоторное топливо, карьерная техника.

COST REDUCTION CJSC «OSKOLCEMENT» BY THE TRANSLATION MACHINERY OF THE PLANT TO NATURAL GAS FUEL

M.S. Potapenko, master ZAO Oskolcement, M.A.,
E.S. Potapenko, postgraduate student, Russian state University of oil and gas I. M. Gubkin

The technical and economic calculations to reduce the cost of cement production plant JSC «Oskolcement». Recommendations on the transfer of motor vehicles to natural gas fuel plant, allowing to comply with the requirement of the Law of 23 November 2009 261-FZ and the energy efficiency programme in the Russian Federation.

Key words: the cement industry, an energy efficiency, an alternative fuels, a mining equipment.

Цементная промышленность по своей технологической сути является довольно затратной народно-хозяйственной отраслью, обеспечивающей развитие экономики страны.

ЗАО «Осколцемент» занимает первое место по производительности среди предприятий холдинга «Евроцемент», где весьма актуальна проблема снижения затрат, которые можно разделить на прямые и косвенные. Структура затрат показана на рис. 1.

Учитывая большую долю косвенных затрат, приходящихся на моторное топливо (около 130 млн руб. в год), нами предусмотрено решение проблемы энергосбережения путем использования альтернативных видов газомоторных топлив.

Из многообразия видов альтернативных топлив в настоящее время наиболее конкурентоспособными являются:

– природный газ в сжатом состоянии (КПГ);
– сжиженные углеводородные газы (СУГ);
– сжиженный природный газ (СПГ).

Природный газ (метан) обладает уникальными физико-химическими свойствами, наилучшим моторным качеством (детаностойкость, экономичность, лучшее смесеобразование), значительные его запасы, развитая трубопроводная сеть доставки потребителям, экологические преимущества (снижение вредных выбросов в сравнении с нефтяными) рассматриваются как наиболее перспективные и универсальные моторные топлива России в XXI веке.

Преимущества КПГ:

1. Низкая цена.

Природный газ является наиболее дешевым видом моторного топлива, поскольку, согласно постановлению Правительства России от 15 января 1993 г. №31, даже в условиях свободного рынка стоимость 1 нм^3 природного газа для автотранспорта не будет превышать 50 % стоимости 1 л бензина А-76, эквивалентного ему по энергосодержанию.

2. Безопасность природного газа.

С точки зрения взрывопожаробезопасности компримированный природный газ является самым безопасным видом топлива. В отличие от других видов топлива, метан при утечке не скапливается внизу, образуя взрывоопасную смесь, а стремится вверх, достаточно быстро «растворяясь» в атмосфере ввиду того, что он почти в два раза легче воздуха. Что касается автомобильных газовых

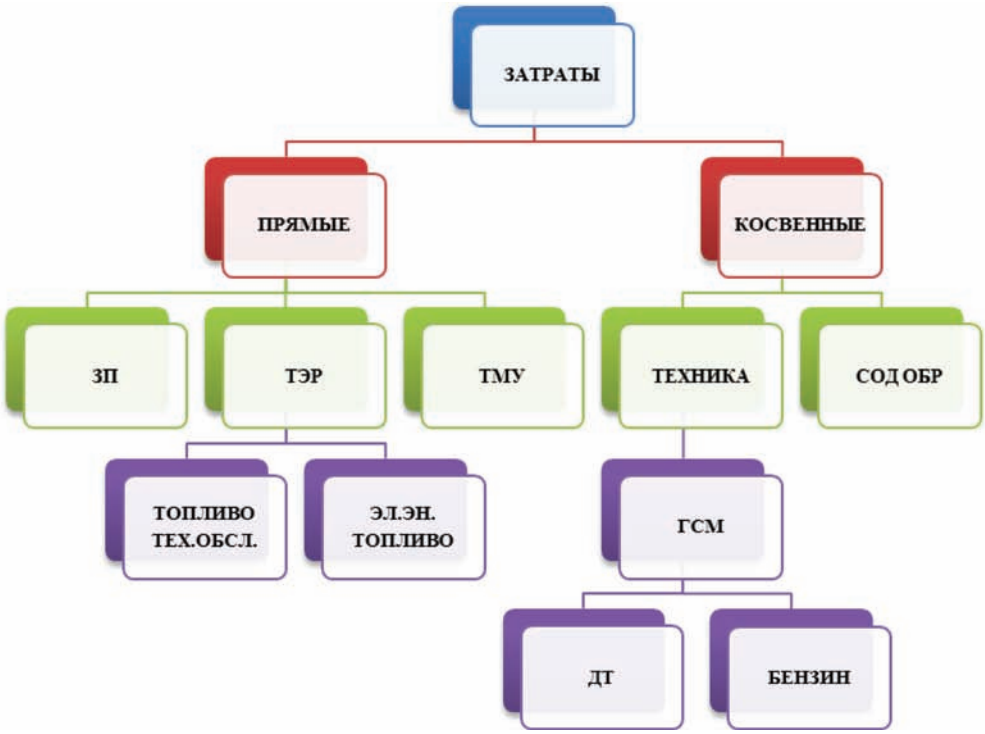


Рис. 1. *Принципиальная структура затрат ЗАО «Осколцемент»*

баллонов, то они не представляют опасности, так как имеют многократный запас прочности, удовлетворяют требованию безосколочного разрушения. Баллоны проходят целую серию испытаний на устойчивость к разрушению при падении с высоты, прострелe из огнестрельного оружия, воздействия экстремальных температур и открытого пламени.

Безопасность природного газа подтверждает статистика. За период 2000–2004 гг. в России зарегистрировано 212 пожаров газобаллонных транспортных средств. При этом по данным Академии ГПС МЧС России и ГУГПС МЧС России в эксплуатации находилось 400 тыс. единиц ГБА. 91 % из них использовали сжиженный пропан-бутан, 9 % – работают на сжатом метане. На автомобилях, работающих на КПГ, не зафиксировано ни одного пожара.

В США в 98 000 аварий газобаллонных автомобилей, работающих на КПГ, не отмечено ни одного возгорания. За 10 лет эксплуатации 2400 автомобилей, работающих на метане, было преодолено суммарно 280 млн километров и зафиксировано 1360 столкновений с их участием. В 180 случаях удар приходился в зону размещения баллонов высокого давления, но ни один баллон не был поврежден (по данным американской газовой ассоциации (АГА)) [8, 9].

3. Технические преимущества. При использовании КПГ, увеличиваются межремонтный период работы двигателя до 50 %; период смены масла в картере – в 2 раза; снижается уровень шума работы двигателя на 3–8 ДБ.

4. Экологичность природного газа. На сегодняшний день автотранспортный комплекс страны является одним из основных источников загрязнения окружающей среды.

Статистические данные свидетельствуют, что, в среднем по стране, на долю автомобильного транспорта приходится до 45 % всех выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Ежегодно один автомобиль поглощает из атмосферы более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработавшими газами 800 кг оксида углерода, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. Высокие уровни загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта негативно сказываются на здоровье населения. Таким образом, сложившаяся ситуация обуславливает необходимость создания системы снижения негативного воздействия моторной техники на окружающую среду и здоровье населения.

В России большинство из 41 млн автомашин страны соответствуют только устаревшим европейским экологическим требованиям «Евро-2».

Использование метана в двигателях позволяет достичь норм выброса, соответствующих стандарту «ЕВРО-4», «ЕВРО-5». Содержание вредных веществ в выхлопных газах снижается в автомобилях с бензиновым двигателем — на 70 %, с дизельным двигателем — на 53 %.

Существуют следующие способы перевода двигателей внутреннего сгорания на газовое топливо:

Для дизельного двигателя:

– дооборудование дизельного двигателя газовой системой питания и механизмом ограничения запальной дозы дизельного топлива с целью обеспечения его работы по так называемому газодизельному циклу (70 % КПГ и 30 % ДТ);

– переоборудование дизельного двигателя в двигатель с искровым зажиганием для работы только на газовом топливе.

Для бензинового двигателя:

– дооборудовать двигатель газобаллонным оборудованием, работающим на двух видах топлива: жидком и газообразном.

– заменить бензиновый двигатель на чисто газовый двигатель (повышает экономичность).

Потребителями моторного топлива (рис. 2) на ЗАО «Осколцемент» в основном являются карьерная техника и цементовозы.

На примере карьерной техники в горном цехе, выполнен расчет исходя из годового потребления топлива (табл. 1).

Итого горный цех за 2013 г. израсходовал 1 115 015 л дизельного топлива, в денежном выражении это составляет 28 544 384 руб., при переводе данной техники на КПГ в газодизельный режим затраты снизятся до 9 944 819 руб., экономия составит 18 599 565 руб. Затраты на топливо в горном цехе снизятся в 2,8 раза.

Экономическая эффективность перевода техники на КПГ рассчитывается с учетом строительства и использования заводских сетей газоснабжения, с размещением площадки автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) на территории завода с условием допустимых разрывов (рис. 3).

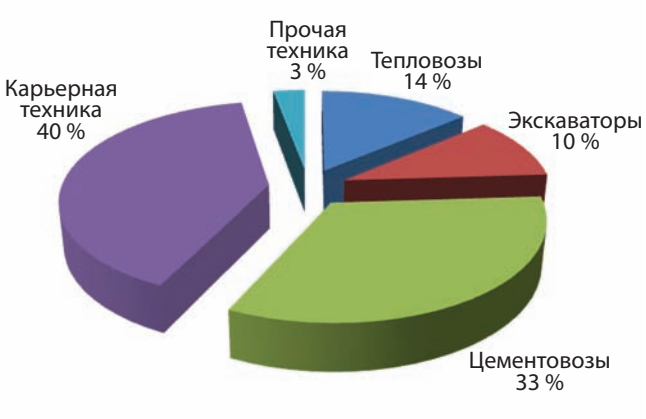


Рис. 2. *Потребители моторного топлива ЗАО «Осколцемент»*

Размещение АГНКС на территории завода возможно возле ремонтного бокса карьерной техники, данное место удовлетворяет требованиям размещения и является наиболее удобным для заправки моторной техники.

Как отмечено выше, завод в год потребляет 4143 т дизельного топлива и 104 т АИ-92. При переводе 80 % техники завода на КПГ потребление составит 2 461 520 м^3 метана, следовательно, в среднем суточное потребление составит 6 744 м^3 газа.

Стоимость установки АГНКС необходимой производительности «под ключ» представлена в табл. 2 (на примере ОАО «Еврогаз»).

АГНКС – долгосрочное вложение, поэтому необходимо рассматривать модель с производственным запасом мощности, с учетом удаленности техники (горный цех) необходимо предусмотреть возможность доставки КПГ в горный цех передвижными автогазозаправщиками (ПАГЗ).

Оптимальным вариантом является использование АГНКС-350.

Схема заправки КПГ должна удовлетворять требованиям размещения АГНКС НПБ 111-98, иметь возможность заправки всей техники, в том числе и тепловозов (рис. 4).

С учетом размещения горного цеха от предполагаемого места установки АГНКС, логистика заправки техники должна определяться расчетом [3, 4, 6].

Среднесуточное потребление топлива в горном цехе составляет 3054,8 л. Следовательно, ПАГЗ должен удовлетворять этим объемам и иметь 20%-ный запас, значит должно быть обеспечено 3665,7 л. Учитывая работу двигателей в газодизельном режиме, расход дизельного топлива составит 30 % – 1099, 7 л, а 70 % заменяем КПГ – следовательно, не-

Рис. 3. *Вариант размещения АГНКС*

Таблица 1

Показатели использования топлива карьерной техникой

№	Номер машины	Пробег, км	Фактический расход топлива, л	Расход топлива, л/100км	Затраты на ДТ, руб.	Затраты в газодизельном режиме, руб.	Разница в затратах, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8
БелАЗ 30							
1	235	6802	11220	165,0	287 232,0	100 071	187 161
2	337	0	0	0	0	0	0
3	238	840	1760	209,5	45 056,0	15 697	29 359
БелА340							
1	251	21455	44970	209,6	1 151 232,0	401 087	750 145
2	252	20989	43295	206,3	1 108 352,0	386 148	722 204
3	253	20792	44940	216,1	1 150464,0	400 820	749 644
4	254	20099	40430	201,2	1 035 008,0	360 595	674 413
5	255	10115	21665	214,2	554 624,0	193 230	361 394
VOLVO							
1	1	54160	86740	160,2	2 220 544,0	773 634	1 446 910
2	2	53046	81400	153,5	2 083 840,0	726 007	1 357 833
3	3	53771	82045	152,6	2 100 352,0	731 759	1 368 593
4	4	57760	94710	164,0	2 424 576,0	844 718	1 579 858
5	8	28589	44120	154,3	1 129 472,0	393 506	735 966
6	9	43870	68950	157,2	1 765 120,0	614 965	1 150 155
7	10	69695	114540	164,3	2 932 224,0	1 021 582	1 910 642
8	11	52428	86105	164,2	2 204 288,0	767 970	1 436 318
БелАЗ Новый							
1	239	10768	20780	193,0	531 968,0	185 337	346 631
2	240	869	15150	1743,4	387 840,0	135 123	252 717
3	241	7015	14420	205,6	369 152,0	128 612	240 540
4	242	8645	17230	199,3	441 088,0	153 674	287 414
5	243	8147	16850	206,8	431 360,0	150 285	281 075
6	244	18298	33690	184,1	862 464,0	300 481	561 983
7	245	11168	19660	176,0	503 296,0	175 348	327 948
8	246	16483	28740	174,4	735 744,0	256 332	479 412
9	247	9910	19355	195,3	495 488,0	172 627	322 861
10	248	19856	36880	185,7	944 128,0	328 933	615 195
11	249	9895	18480	186,8	473 088,0	164 823	308 265
12	250	3429	6890	200,9	176 384,0	61 452	114 932
В среднем		638894	1 115 015	174,5	1 019 442,3	355 172	664 270
Всего					28 544 384	9 944 819	18 599 565

Таблица 2

Стоимость АГНКС

Модель	Мощность компрессоров, кВт	Количество заправок, сут	Максимальный/номинальный объем заправок в сутки*, нм^3	Гарантия, мес.	Цена (с НДС), руб.
АГНКС - 250	-	150	8 250/4 950	18	23 516 649
АГНКС - 325	110	350	19 250/11 500	18	37 282 149
АГНКС - 350	110	500	27 500/ 16 500	18	46 356 213
АГНКС - 450	110	620	34 100/ 20 460	18	43 116 818,9
АГНКС - 500	160	800	44 000/ 26 400	18	61 572 559, 3
* Нормы одной заправки рассчитаны на 55 нм^3, сут.					

обходимо иметь ПАГЗ с рабочим объемом – 2566 м^3. Под этот объем ПАГЗ подходящим вариантом является пассивный ПАГЗ – резервуар, который с давлением 200 МПа может заправить только 50 % от своего объема, другие варианты будут дополнительно расходовать топливо, от чего необходимо уйти. Итак, выполнить подбор ПАГЗа, необходимый объем которого составит 5132 м^3.

Компания «ГАЗ Сервис Композит» предлагает ПАГЗ на базе прицепа с пассивным объемом 5400 м^3. Цена данного ПАГЗа составляет 19 600 000 руб. (с НДС).

Стоимость перевода техники взята по среднему прейскуранту в ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» (табл. 3).

Итого затраты на перевод всей техники на КПГ составят 26 910 000 руб., при переводе техники с учетом зарезервированной техники затраты составят 22 050 000 руб.

Рис. 4. *Предполагаемые потребители газомоторного топлива (ГМТ)*

Работа проводится без учета амортизации, логистики передвижения техники, сроков эксплуатации техники, прошедших ремонтов т/с, затрат на компримирование газа, затрат на обучение персонала, затрат на увеличение обслуживающего персонала.

Затраты на проект:

1. Строительство АГНКС – 46 356 213 руб.;
2. Закупка ПАГЗа – 19 600 000 руб.;
3. Переоборудование всей техники завода – 26 910 000 руб.

Итого затрат – 92 866 213 руб.

Срок разработки проекта – 3 месяца (ведется от начала строительства АГНКС).

Прибыль от проекта. Переводя технику на КПГ, завод снижает потребление ДТ на 70 %, следовательно, остаются ежегодные затраты в размере 30 % от ДТ, что составляет 37 462 155 руб. – это неотъемлемое потребление ДТ в газодизельном режиме.

Оставшуюся часть ДТ заменяют на КПГ, затраты на них составят 5 990 620 руб., итого годовые затраты на топливо составляют 43 452 775 руб.

Итак, за первый год использования КПГ завод расходует:

Таблица 3

Стоимость перевода техники

№	БАЗА т/с	Вид топлива	Количество	Количество резервной техники	Средняя стоимость перевода единицы техники, тыс. руб.	Стоимость перевода техники без резерва, тыс. руб.	Стоимость перевода всей техники, тыс. руб.
1	КАМАЗ	Д/Т	8	1	150	1050	1200
2	КРАЗ		3	2	140	140	420
3	Бортовой ЗИЛ	Д/Т	1		140	140	140
4	МАЗ		6	1	140	700	840
5	БЕЛАЗ		31	10	250	5250	7750
6	VOLVO		9		250	2250	2250
7	Автофургон БАГЕМ	А/Б	1		120	120	120
8	ЗИЛ	А/Б	4		120	480	480
9	ГАЗ	А/Б	8	3	120	600	960
10	Бульдозер		7		200	1400	1400
11	Экскаватор		2	1	250	250	500
12	МТЗ		4	2	100	200	400
13	ЛТЗ		2	1	120	120	240
14	Вилочный погрузчик		11	2	40	360	440
15	Погрузчик ковшовый		6		130	780	780
16	Трактор СШ		9	5	100	400	900
17	Автогрейдер ДЗ		1		140	140	140
18	Машина дорожная МДК		1		140	140	140
19	ЛИАЗ		3	2	120	120	360
20	ПАЗ		2		120	240	240
21	НЕФАЗ		1		120	120	120
22	ГАЗ 3221	А/Б	1		40	40	40
23	Toyota Land Cruiser	А/Б	1		40	40	40
24	УАЗ	А/Б	2		40	80	80
25	Hyndai Sonata	А/Б	2	1	40	40	80
26	Mercedes Benz Axor		24		150	3600	3600
27	Тепловозы ТЭМ		13		250	3250	3250
	ИТОГО					22050	26910

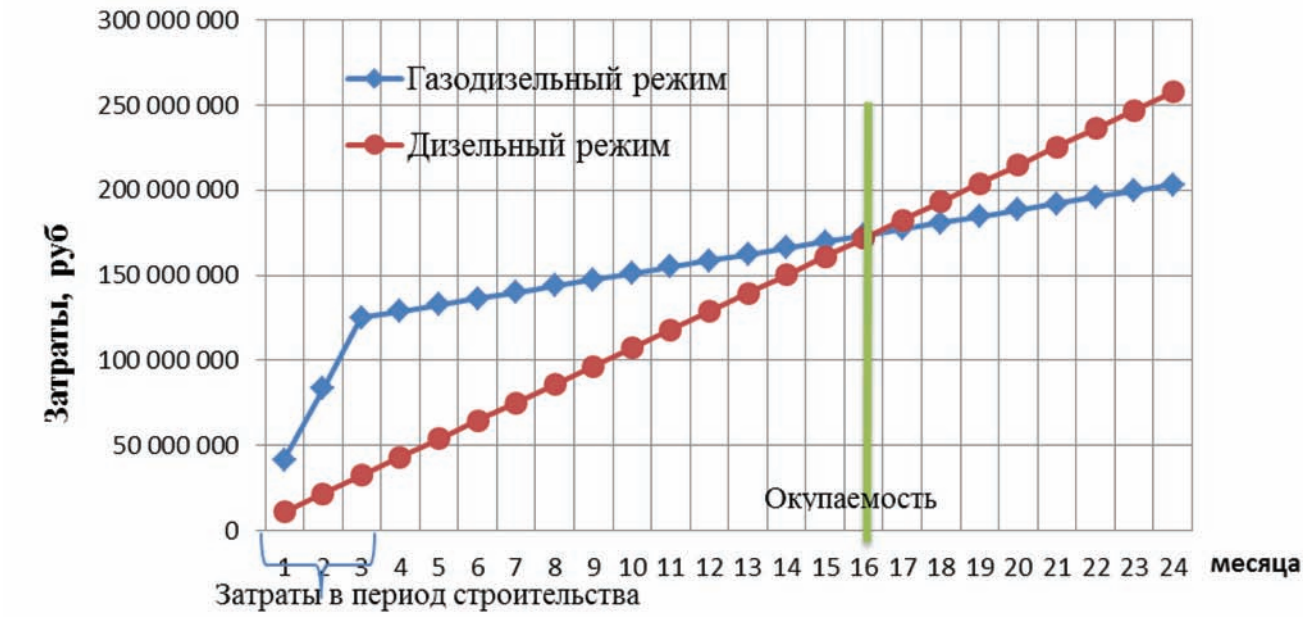


Рис. 5. *Затраты ЗАО «Осколцемент» на топливо*

За 1–3 месяца 92 866 213 руб. капиталовложения и затраты на работу двигателей в дизельном режиме – 32 218 462 руб., итого – 125 084 676 руб.

За 3–12 месяцев наступает период работы в газодизельном режиме – затраты на этот период составляют 33 489 581 руб.

Итого затраты за год при работе в газодизельном режиме – 158 574 257 руб.

Затраты при работе в дизельном режиме – 128 873 850 руб.

Затраты за 2-й год проекта – затраты на топливо в газодизельном режиме – 44 652 775 руб.

Итого за 2 года при работе в газодизельном режиме (с учетом 3 месяцев инвестиций) затраты будут составлять 203 227 032 руб.

Затраты за 2 года при работе в дизельном режиме – 257 747 700 руб.

Наглядно показано, что срок окупаемости проекта менее двух лет с начала вложения инвестиций. Точный срок окупаемости – 1 год и 4 мес (рис. 5).

Выводы

1. Доказана целесообразность перевода техники завода на компримированный газ.

2. Газомоторное топливо, используемое в цементной промышленности, позволяет:

- снизить затраты на производство на 30 %;
- улучшить показатели завода по экологии;
- выполнить требование закона об энергоэффективности и энергосбережении (№ 261 от 23.11.2009 г.);
- исключить элементы нецелесообразного использования топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Федеральный** Закон от 23 ноября 2009 г. 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные зконодательные акты Российской Федерации».

2. **Программы** энергоэффективности до 2020 года в Российской Федерации.

3. **Коклин И.М., Потапенко Е.С., Маленкина И.Ф.** Развитие региональных систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом. – М.: (АГЗК+АТ) № 5, 2013, С. 7–18.

4. **Сахаров С.А., Пронин Е.Н**. Золотой век метана. Транспорт на альтернативном топливе. 2013, № 5, С. 45–48.

5. **Распоряжение** Правительства РФ от 13 мая 2013 года №767-р «О регулировании отношений использования газового моторного топлива, в том числе природного газа в качестве моторного топлива».

6. **Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Золотаревский Л.С.** Природный газ как моторное топливо на транспорте. – М.: Недра, 1996. – 255 с.

7. **Дементьев В.В., Коклин И.М.** О программе строительства АГНКС и криоАЗС с целью расширения использования газомоторного рынка. – М.: (АГЗК+АТ), № 4, 2014, С. 34–50.

8. **Васюков Г.В., Корольченко А.Я., Рубков В.В.** Пожарная безопасность газобаллонных автомобилей. Автомобильная промышленность. 2010, № 2.

9. **Интернет**-ресурс www.kamaz.ru.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН ИЗ УГЛЕВОДОРОДОВ И МОНООКСИДА УГЛЕРОДА

Николаев А.И., доцент МИТХИ им. М.В. Ломоносова

В статье представлены результаты исследований, показывающих, что образование зародышей и поверхностного углерода, из которого в дальнейшем формируются пространственные углеродные структуры, происходит на «дефектах» кристаллической решетки катализатора и природа активных центров не зависит от используемого при получении УНВ сырья.

Ключевые слова: углеродные нановолокна, механизм образования, дефекты кристаллической решетки.

THE MECHANISM OF FORMATION OF CARBON NANOFIBERS FROM HYDROCARBONS AND CARBON MONOXIDE

Nikolaev A.I.

The article presents the research results indicate that the formation of nuclei and the surface of the carbon, which is subsequently formed spatial carbon structures, occurs on the «defects» of the crystal lattice of the catalyst and the nature of the active cents is not dependent upon receipt of the UNV raw materials.

Keywords: carbon nanofibers, the mechanism of formation, defects kristallicheskoi reshetki

В научно-технической литературе объемно-пространственные структуры углерода, образующиеся на поверхности металла при его контакте с углеводородами, называются углеродными нанотрубками и нановолокнами (УНВ).

Обобщение материалов, представленных в научно-технической литературе и посвященных изучению морфологии УНВ, показало, что единой классификации объемно-пространственных структур углерода не существует, а представленная информация носит противоречивый характер. Так, например, в работах [1–3] отмечается, что на конце углеродного нановолокна находится частица катализатора, форма которой может быть сферической, каплевидной или ромбической. В то же время, авторами работ [4–8] высказывается предположение, что катализаторная составляющая может быть распределена по всей длине волокна. Содержание катализаторной составляющей в волокне может варьироваться от 70 до 0,6 % масс. [9, 10]. Не существует единого мнения относительно фазового состава катализаторной составляющей. Так, в работах [11–13] отмечено, что она может быть представлена металлом, его оксидами и карбидами.

Само волокно может быть сплошным [14, 15] или по его центральной оси располагается пустотелый канал [16]. Углерод, формирующий волокно УНВ, может находиться в аморфном или кристаллическом состоянии.

УНВ могут быть одно- и многослойными. Однослойные УНВ характеризуются диаметром до 6 нм и длиной до десятков микрон. Для многослойных УНВ вутренний диаметр составляет от 0,6 до 5,5 нм, а внешний может достигать десятков нанометров.

Благодаря своей уникальной морфологии и свойствам УНВ рассматриваются как перспективный объект для фундаментальных и прикладных исследований. В частности, в работе [17] УНВ предлагают использовать в составе топливных элементов. Такое направление применения УНВ основывается на том, что однослойные УНВ (диаметр 1,2 нм), способны сорбировать водород в количестве 5–10 % масс. или 20 кг/м^3 [18].

Для получения УНВ, пригодных для применения в различных областях, т.е. с определенной морфологией и свойствами, необходимо выявить механизм их образования. На данный момент времени предложены следующие стадии:

1. Диффузия реагента из газовой фазы к поверхности катализатора, его адсорбция и (в ряде случаев) диссоциация.

2. Преобразование поверхности катализатора-реагента, возникновение на ней и рост активных центров.

3. Образование поверхностного углерода.

4. Формирование из поверхностного углерода пространственных структур.

Следует отметить, что однозначного мнения о протекании каждой из стадий нет. Так, например, первая стадия процесса зависит от природы катализатора, газообразного компонента и объемной скорости его подачи, а также наличия примесей. В качестве активных центров образования углерода рассматривают металлы и их карбиды. Движущей силой процесса, приводящего к формированию пространственных структур углерода, могут рассматриваться температурный или концентрационный градиент. Отсутствует также однозначное мнение о причинах возникновения зародышей. По мнению ряда авторов [19, 20], образование зародышей начинается в результате внедрения углерода в кристаллическую решетку катализатора и возникновения микроучастков со связями металл–углерод. В то же время, высказывалось [21] предположение о том, что образование зародышей и поверхностного углерода происходит на «дефектах» кристаллической решетки катализатора.

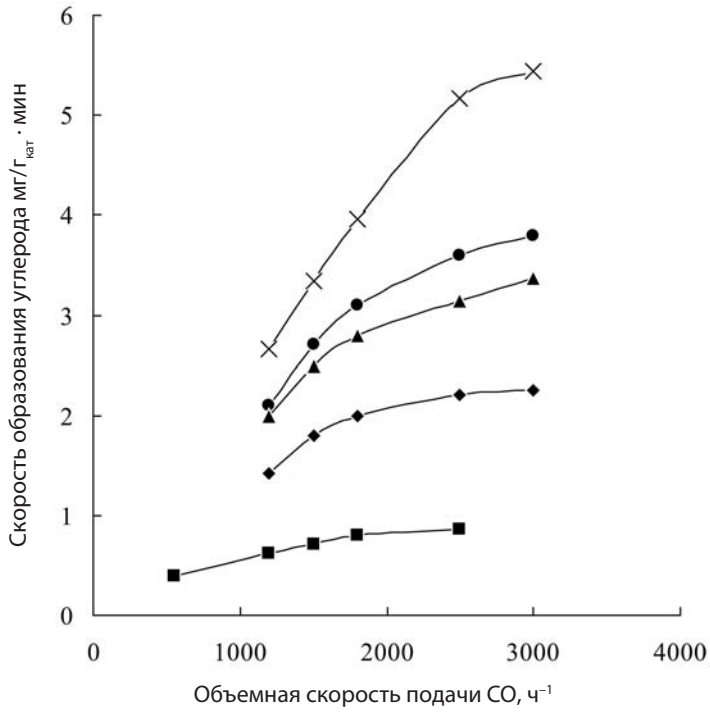


Рис. 1. *Влияние условий синтеза УНВ$_{CO}$ на скорость образования углерода катализатор: -●- – К1, синтез УНВ проводили при 400 °С;-♦- – К1, синтез УНВ проводили при 600 °С; х- – К1$_1$, синтез УНВ проводили при 400 °С; -▲- – К2, , синтез УНВ проводили при 400 °С; -■- – К2$_1$, синтез УНВ проводили при 400 °С*

Для проверки данного предположения были получены углеродные нановолокна из монооксида углерода (УНВ$_{CO}$). Синтез осуществляли на катализаторе синтеза аммиака марки СА-1В фракцией 1–2 мм (К1) и фракцией 3–5 мм (К2) при температурах 400 и 600 °С и объемных скоростях подачи монооксида углерода от 550 до 3000 ч$^{-1}$. Также в качестве катализатора использовали модифицированные контакты. Контакт К2$_1$ получен в результате термообработки при 800 °С в токе инертного газа катализатора К2, а К1$_1$ – термообработкой при 400 °С в токе воздуха К1.

На рис. 1 представлено влияние условий синтеза УНВ$_{CO}$ на скорость образования углерода.

Видно, что во всей исследованной области объемных скоростей подачи монооксида углерода наибольшую активность проявил катализатор К1$_1$, подвергнутый предварительной окислительной термообработке, а наименьшую – катализатор К2$_1$, термообработанный в инертной среде.

К снижению активности контакта приводит повышение температуры синтеза. Использование контакта меньшего фракционного состава увеличивает скорость образования углерода незначительно. Следует также отметить различный характер изменения скорости образования углерода при увеличении расхода моноокида углерода. Так, в случае использования катализатора К1$_1$ она начала стабилизироваться только при объемной скорости выше 2400 ч$^{-1}$, а на катализаторе К2$_1$ во всем диапазоне объемных скоростей менялась незначительно.

Отмеченное влияние модификации катализатора на скорость образования углерода может быть объяснено изменениями в количестве «дефектов» кристаллической решетки. Так, в результате повышения температуры синтеза, как и при предварительной термообработке, увеличиваются размеры кристаллитов, например у СА-1В (исходный катализатор) с 30 нм до 120 нм К2$_1$. В результате сокращаются границы раздела кристаллитов, уменьшается количество «дефектов», и активность катализатора снижается.

При окислении катализатора (К1$_1$) появляются новые фазы, увеличивается протяженность границ между кристаллитами и количество «дефектов» решетки, в результате чего активность катализатора возрастает.

Измельчение катализатора (К1 и К2) сопровождается увеличением границ контакта кристаллитов.

Таким образом, представленные результаты синтеза УНВ из монооксида углерода на катализаторах подтверждают предположение о роли «дефектов» кристаллической решетки катализатора в образовании УНВ из монооксида углерода. Однако остается неизвестным, можно ли рассматривать в качестве активных центров «дефекты» кристаллической решетки катализатора при получении УНВ из углеводородов.

Исследования проводились с использованием в качестве катализатора УНВ, полученных на катализаторе К1 при температуре 400 °С и объемной скорости подачи монооксида углерода 1800 $ч^{-1}$. Характеристики волокон приведены в табл. 1. В качестве источника углерода выступал метан.

Таблица 1

Характеристики УНВ, полученные из СО

Номер образца	Удельная адсорбционная поверхность, $м^2/г$	Содержание железа, %
$УНВ_{CO}1$	22	10,7
$УНВ_{CO}2$	40	12,3
$УНВ_{CO}3$	30	14,3
$УНВ_{CO}4$	36	19,0

Следует отметить, что применение $УНВ_{CO}$ в качестве катализатора обусловлено тем, что в случае если они, а точнее говоря, их минеральная составляющая, содержащая активные центры, образовавшиеся при получении волокон, будет инициировать синтез вторичных нановолокон из метана, то это будет свидетельствовать о том, что природа активных центров не зависит от используемого сырья.

На рис. 2 представлено влияние массы навески катализатора на скорость образования УНВ из метана. Синтез УНВ проводили при температуре 450 °С и расходе метана 18 мл/мин.

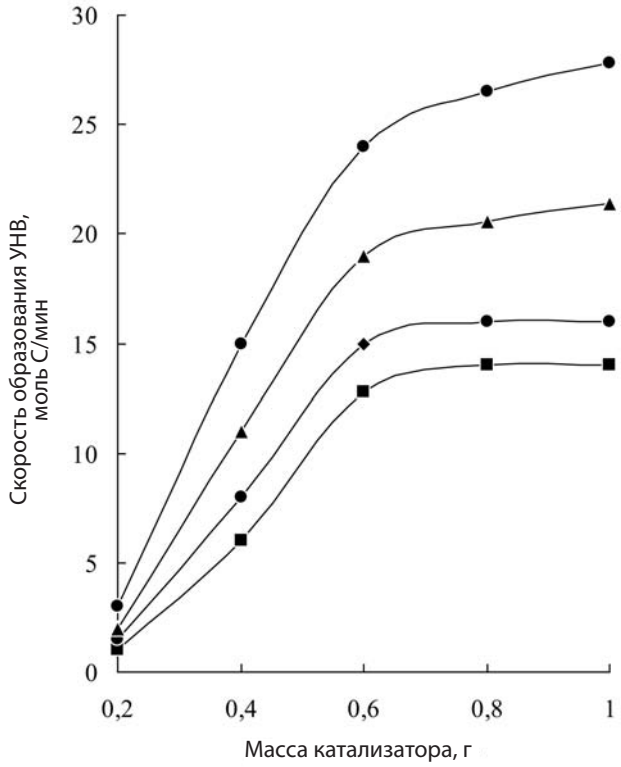
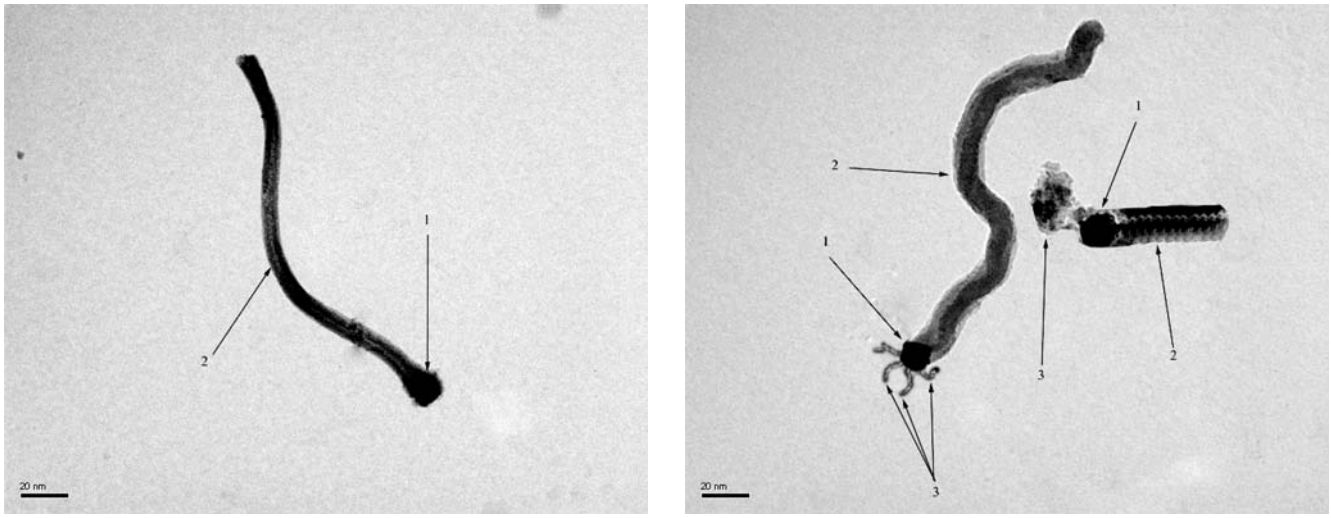


***Рис. 2**. Влияние массы навески катализатора на скорость образования УНВ из метана катализатор: -■- – $УНВ_{CO}1$, -♦- – $УНВ_{CO}2$, -▲- – $УНВ_{CO}3$, -●- – $УНВ_{CO}4$*



а *б*

***Рис. 3**. Фотография исходного образца $УНВ_{CO}$ (а) и использованного в качестве катализатора для синтеза УНВ из метана (б): 1 – минеральная составляющая $УНВ_{CO}$, 2 – углеродная составляющая $УНВ_{CO}$, 3 – вторичные УНВ*

Из представленных на рисунке данных следует, что $УНВ_{CO}$ инициируют образование вторичных УНВ из метана. Это свидетельствует о том, что природа активных центров не зависит от используемого сырья.

Скорость образования УНВ возрастает с увеличением навески катализатора. Это может быть объяснено тем, что чем больше содержится в $УНВ_{CO}$ минеральной составляющей (выше концентрация железа), тем больше активных центров и, следовательно, выше скорость образования углерода.

Об образовании вторичных УНВ при термокаталитическом разложении метана на $УНВ_{CO}$ свидетельствуют данные, представленные на рис. 3.

Таким образом, на основании рассмотренных выше данных можно говорить о том, что образование зародышей и поверхностного углерода при получении УНВ происходит на «дефектах» кристаллической решетки катализатора и природа активных центов не зависит от используемого при получении УНВ сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Радушкевич Л.В.** О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте / Л.В. Радушкевич, В.М. Лукьянович // Ж. физ. химии. – 1952. – Т. 26, № 1. – С. 88–95.

2. **Буянов Р.А.** Закоксовывание катализаторов / Р.А. Буянов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 205 с.

3. **Розовский А.Я**. Катализатор и реакционная среда / А.Я. Розовский. – М.: Наука. 1988. – 304 с.

4. **Körner H.** The effect of carburization and oxygen exposure on the reaction of carbon monoxide on iron films et 573 K under a pressure between 5 and 10 mbar. / H. Körner, H. Landes, G. Wedler, H.J. Kreuzer // Appl. Surface Sci. – 1984. – V. 18, № 4. – P. 361–376.

5. **Audier M**. Disproportionation of CO on iron–cobalt alloys – III. Kinetic laws of the carbon growth and catalist fragmentation / M. Audier, M. Coulon, L. Bonnetain. // Carbon. – 1983. – V. 21. – P. 105–110.

6. **Лукьянович В.М**. Электронная микроскопия в физико–химических исследованиях / В.М. Лукьянович. – М.: Изд–во АН СССР. – 1960. – 274 с.

7. **Давидян Г.М**. Исследование морфологии волокнистого углерода, полученного на никельсодержащем катализаторе / Г.М. Давидян, М.С. Цеханович, В.Г. Щуплецов, Ю.В Суровикин // В сб. трудов ВНИИТУ. – 1983. – № 6. – С. 186–195.

8. **Буянов Р.А.** Закоксовывание катализаторов / Р.А. Буянов // Кинетика и катализ. – 1980. – Т. 21, № 1. – С. 237–244.

9. **Рукин Б.В**. Сажистое железо / Б.В. Рукин, Н.П. Острик, Ж.И. Дзнеладзе. – М.: Металлургия, 1986. – 103 с.

10. **Пат. RU2108287 РФ** Способ получения углеродного материала и водорода / Г.Г. Кувшинов [и др.]. опубл. 10.04.98. Бюл. №10. – 3 с.

11. **Лукьянович В.М.** Электронная микроскопия в физико–химических исследованиях / В.М. Лукьянович. – М.: Изд–во АН СССР. – 1960. – 274 с.

12. **Острик П.Н.** Кинетические закономерности науглероживания железного катализатора в токе окиси углерода / П.Н. Острик, Г.Г. Герман, Н.Ф. Колесник // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1976. – №1. – С. 14–17.

13. **Михайлова А.В.** Образование волокнистого углерода при взаимодействии оксидов углерода с метаном на никелевом катализаторе / А.В. Михайлова, А.М. Алексеев, В.С. Бесков // ТОХТ. – 1996. – Т. 30, № 2. – С. 195–199.

14. **Boehm P.H.** Carbon from monoxide disproportionation on nickel and iron catalysts: morphological studies and possible growth mechanisms / P.H. Boehm // Carbon. – 1973. – V.11. – P. 583–590.

15. **Hillert M.** The structure of graphite filaments / M. Hillert, N. Lange // Z. Kristallogr. – 1958. – V. 111. – P. 24–34.

16. **Окотруб А.В**. Магнитная анизотропия и химическое состояние железа, инкапсулированного в массивах ориентированных углеродных нанотруб / А.В. Окотруб [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология. 5-я Международная конференция. – М.: МГУ. 2006. – С. 35.

17. **Николаев А.И.** Получение топлив и материалов для топливных элементов на основе продуктов электрокрекинга органического сырья // АвтоГазоЗаправочный Комплекс+Альтернативное топливо, 2014, № 7. С. 3–8

18. **Пат. 2160767 РФ,** МПК С 10М 177/00, С 0М 113/02. Способ получения пластической смазки / Прокопьев И.А., Чулков И.П., Лихтерова Н.М., Французов В.К. и др. – № 99127914/04 ; заявл. 29.12.1999; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 40. – 6 с.

19. **Еремин Е. Н.** Основы химической кинетики / Е.Н. Еремин. – М. : Высшая школа, 1976. – 541 с.

20. **Березина З.Н**. Исследование кинетики образования пироуглерода на поверхности при пиролизе углеводородов / З.Н. Березина, Р. З. Магарил, Н. И. Рожина // Тр. Тюменского индустриального института. – 1973. – вып. 36. – С. 63–70.

21. **Пешнев Б. В.** Технология получения высокоадсорбционных материалов на основе углеродных нановолокон : дис. … докт. техн. наук : 02.00.13 / Пешнев Б.В. – М., 2007. – 288 с.

УДК 629.113.6.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В.И. Ерохов, профессор Московского государственного машиностроительного университета «МАМИ», д-р техн. наук, Заслуженный деятель науки РФ.

Приведены конструктивные и функциональные особенности совмещенного окислительного сажевого фильтра. Приведены характеристики каталитического фильтра. Изложены особенности конструкции и принцип действия системы подачи мочевины. Приведены конструктивные особенности модуля подачи мочевины и распыливающего воздуха. Дана оценка технической и экологической эффективности применения системы снижения токсичности и дымности современных двигателей.

Ключевые слова: сажевый фильтр, газовая аппаратура, каталитический фильтр, отработавшие газы, сажа, оксиды азота, система управления, модуль подачи мочевины, распыливающий воздух.

IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF MODERN DIESEL ENGINES

V.I. Yerokhov, Professor, Moscow state engineering University «MAMI», Dr technology. Sciences, Honoured scientist of the Russian Federation.

The design and functional features combined oxidation of the particulate filter. Specifications catalytic filter. Given the peculiarities of construction and principle of operation of the supply system of urea. The design features of the feed module urea and spray air. The estimation of the technical and environmental efficiency of the system reduce the toxicity and smoke modern engines.

Keywords: diesel particulate filter, gas equipment, catalytic filter, exhaust gases, soot, nitrogen oxides, management system, the feed module urea, spray the air.

Современные дизели содержат селективный каталитический преобразователь SCR (Selective Catalytic Reduction), состоящий из каталитического нейтрализатора в виде сотовой структуры и системы «Denox», представляющей устройство дозирования в выпускной трубопровод аммиачного заменителя «AdBlue».

Селективный каталитический преобразователь (SCR) обеспечивает снижение выброса сажи (С) и нейтрализацию продуктов неполного сгорания (CO и C_mH_n) и альдегидов (RCOH). Система окислительного нейтрализатора дизелей аналогична бензиновым ДВС.

Сравнительно низкая температура ОГ дизеля, равная 150…250 °С, недостаточна для организации эффективных его каталитических процессов нейтрализации оксидов азота (NO_x). Принцип действия системы «Denox» заключается в организации химической реакции аммиака (NH_3) с оксидами азота ОГ, в результате которой образуется азот и водяной пар. Увеличение температуры ОГ на каждые 10 °С ведет к росту скорости химических реакций в 2…4 раза.

SCR выполняет функции фильтра и каталитического нейтрализатора. Сажа представляет микроскопические углеродистые частицы различной формы, величины и структуры диаметром 0,05 мкм. Ядро частицы состоит из чистого углерода, а на нем адсорбируются различные углеводородные соединения, оксиды металлов и серы [3–5].

Состав частиц сажи зависит от применяемого рабочего процесса, режима его работы и состава топлива. Из-за недостатка кислорода в отдельных зонах КС образуется слишком богатая смесь, сгорание которой не может быть полным и сопровождается образованием частиц сажи. Содержание твердых частиц в ОГ дизелей приведено на рис. 1.

Состав твердых частиц в ОГ современного дизеля: углерод – 41 %; углеводороды (топлива и масла) – 10 %; сульфат (SO_4) – 6 %; сера и оксиды металлов – 15 %; пары воды (H_2O) – 28 % [9].

Механизм образования сажи в случае термического разложения спиртов биодизеля имеет следующий вид:

$$CH_{2n+1} + OH + Q_1 = CO + (n+1)H_2 + (n-1)C \quad . \quad (1)$$

Селективный преобразователь содержит корпус 15 с входным *1* и выходным *12* патрубком ОГ, окислительный каталитический нейтрализатор *3* с сотовой структурой и сажевый фильтр *8*, λ– зонд *2*, датчик давления *13* и датчик температуры *5*.

Носитель SCR покрыт Al_2O_3 катализатором из платины Pt и специальным веществом R, выполняющим функцию адсорбера.

При работе на бедных смесях платиновый катализатор способствует окислению NO до NO_2, который на материале R адсорбируется в виде нитрата. Когда ДВС будет работать при $\alpha<1$, то NO_2 с участием CO, C_mH_n и H_2 восстанавливается на платиновом катализаторе.

Принцип работы фильтра связан с задержкой и сжиганием частиц сажи. Для очистки газа от сажи часто с успехом используют простые керамические фильтры с очень развитой поверхностью. Средняя величина гидравлического сопротивления не более 3,5…40 кПа. Через 300…500 км пробега ЭБУ включает режим многофазного впрыска, увеличивая количество поступающего воздуха.

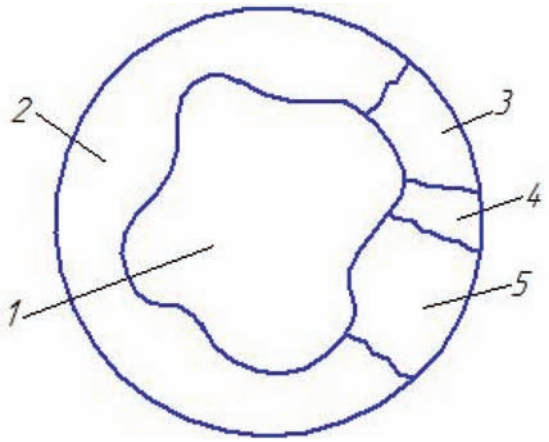


***Рис. 1**. Структура твердых частиц в ОГ современного дизеля: 1 – углерод; 2 – углеводороды; 3 – сульфат (SO_4); 4 – сера и оксиды металлов; 5 – пары воды (H_2O)*

Матрица сажевого фильтра представляет собой ячеистую структуру на базе карбида кремния. Керамическая матрица заключена в металлический корпус *15*. Она пронизана множеством параллельно расположенных каналов малого сечения, закрытых попеременно с одной или другой стороны.

SCR содержит впускные и выпускные каналы, разделенные между собой фильтрующими стенками. Каналы фильтра закрыты попеременно со стороны впуска и выпуска ОГ. Частицы газа задерживаются во впускных каналах, а газ свободно проходит через поры стенок каналов.

Фильтрующая стенка впускного и выпускного каналов состоит из пористого карбида кальция.

Сажевый фильтр устанавливают после турбокомпрессора в непосредственной близости от двигателя. В этом случае температура ОГ на коротком пути до фильтра остается достаточно высокой для сжигания сажи.

В качестве фильтрующего материала фильтра-катализатора используют карбид кремния, который имеет пористую структуру, где накапливаются частицы сажи. Очистка фильтра осуществляется путем подачи топлива в цилиндры с запозданием, обеспечивающим повышение температуры ОГ.

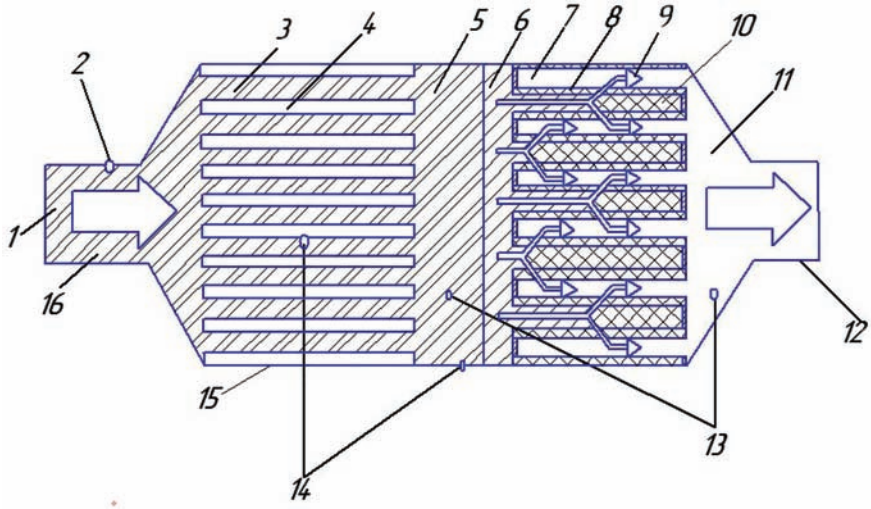


***Рис. 2.** Принципиальная схема окислительного нейтрализатора и сажевого фильтра современного дизеля: 1 – полость входящего газа трубок; 2 – λ – зонд; 3 – окислительный катализатор; 4 – канал прохода ОГ; 5 – разделительная полость; 6 – керамическая полость; 7 – канал очищенного газа; 8 – фильтр частиц сажи; 9 – выходной патрубок; 10 – полость очищенного газа; 11 – входной канал; 12 – выходной патрубок; 13 – датчики давления; 14 – датчики температуры; 15 – корпус нейтрализатора; 16 – входной патрубок*

Стенка покрыта смесью оксидов алюминия и церия, выполняющих функции подложки для платинового катализатора.

Пенокерамика является хорошим материалом. Для его изготовления применяют кордиерит, представляющий собой магниевый алюминиевый силикат с точкой плавления 1465 °С, обладающий малым коэффициентом расширения.

Фильтр для улавливания частиц (сажи) ОГ обеспечивает тонкую очистки частиц сажи. В системе нейтрализации применяют спектроскопический или гравиметрический метод определения сажи. Перепад на фильтре при полной нагрузке составляет 40…110 кПа.

Поверхность фильтрующего элемента покрыта тонким слоем катализатора, повышающего температуру до 560…600 °С. Фильтрующий элемент состоит из керамической (карбид кремния) микропористой губки. Толщина стенок между ее каналами не превышает 0,4 мм. Губку выполняют из сверхтонкого стального волокна. Набивка настолько тонкая, что задерживает до 80 % частиц размером 20…100 нм.

Сажевые фильтры изготавливают из пористого фильтрующего материала или карбида кремния. Периодически фильтры очищают путем впрыска топлива в цилиндры с запозданием. Для снижения температуры регенерации применяется специальная присадка к топливу.

В качестве фильтрующего материала фильтра-катализатора используют карбид кремния, который имеет пористую структуру, где накапливаются частицы сажи. Очистка фильтра осуществляется путем подачи топлива в цилиндры с запозданием, обеспечивающим повышение температуры ОГ. Для снижения температуры регенерации фильтра применяется специальная присадка, подмешанная к топливу. Очистка фильтра происходит по команде ЭБУ двигателем после каждых 400…500 км пробега. Необходимость очистки фильтра определяется ЭБУ на основании показаний датчиков давления на входе и выходе фильтра.

При движении автомобиля накатом для выжигания сажи осуществляют: впрыскивание небольшой дозы топлива при повороте КВ на 35° после ВМТ. Впрыскивание дополнительной дозы топлива происходит на такте расширения, исключая процесс самовоспламенения. Повышение температуры ОГ до необходимого уровня осуществляют путем сжигания паров в сажевом фильтре для его регенерации. Регулирование дополнительной дозы топлива осуществляют по сигналам датчика температуры ОГ, установленного после сажевого фильтра.

Различают пассивную и активную регенерацию сажевого фильтра с каталитическим покрытием. Теоретические основы каталитического процесса приведены в работе [8].

Фильтры очищают периодически путем впрыска топлива в цилиндры с запозданием. Очистка фильтра происходит по команде ЭБУ после каждых 400…500 км пробега автомобиля.

Управление по сигналу λ-зонда сопровождается периодическим изменением *a*, причем колебания величины *a* относительно $\alpha = 1$ не превосходят ± 0,03. Колебания α и инерционность системы на переходных режимах приводят к тому, что реальная величина коэффициентов преобразования составляет 90 %. Основной λ-зонд начинает работать при $t = 300°$ С, поэтому для ускорения применяют его электрический подогрев.

Обеспечение рабочей температурой таких датчиков осуществляют путем нагревания вольфрамовой пленки на изоляционном элементе электрическим током. Нагреватель (вольфрамовая пленка) защищают слоем глинозема (Al_2O_3). Мощность датчика нагревателя составляет 8 Вт.

Пассивная регенерация непрерывно обеспечивает выжигание сажи без специального вмешательства в управление двигателем.

Оксиды азота (NO_x) реагируют в присутствии платины с кислородом, образуя диоксид азота (NO_2):

$$NO_x + O_2 \rightarrow NO_2. \quad (2)$$

Диоксид азота NO_2 реагирует с углеродом (С) сажевых частиц. В результате получаются окись углерода (СО) и окись азота (NO):

$$NO_2 + C \rightarrow CO + NO. \quad (3)$$

Окись углерода (СО) и окись азота (NO) реагируют с кислородом (O_2), образуя диоксид азота (NO_2) и диоксид углерода (CO_2).

Активная регенерация обеспечивает выжигание частиц сажи в условиях высоких температур. В городских условиях эксплуатации характерны небольшие нагрузки двигателя, для которых характерны невысокие температуры ОГ, не обеспечивают пассивную регенерацию сажевого фильтра. При этом частицы сажи не удаляются из фильтра и забивают его каналы. При скоплении в фильтре определенного количества сажи запускается процесс его регенерации двигателем, протекающий по командам системы управления. Процесс активной регенерации продолжается около 10 мин. Температура ОГ повышается до 600…650 °С.

При активной регенерации частички сажи сгорают благодаря высокой температуре ОГ. Частицы сажи скапливаются во впускных каналах SCR.

В дальнейшем частицы сажи (углерод) соединяется с кислородом, образуя диоксид углерода:

$$C + O \rightarrow CO_2. \quad (4)$$

Необходимость проведения активной регенерации определяется ЭБУ по сигналам расходомера воздуха, датчиков температуры ОГ перед и после сажевого фильтра, а также датчика перепада давления на нем. Чистый сажевый фильтр оказывает небольшое сопротивление потоку ОГ. Заполненный сажевый фильтр оказывает повышенное сопротивление потоку ОГ. При заполнении фильтра сажей до определенной величины система управления двигателем запускает процесс активной регенерации.

Степень заполнения фильтра сажей определяется ЭБУ по газодинамическому его сопротивлению. Высокое сопротивление фильтра является признаком накопления в нем предельно допустимого количества сажи.

Давление наддува поддерживается на уровне, при котором водитель не может заметить перевод двигателя на режим рециркуляции. Перечисленные мероприятия позволяют кратковременно повысить температуру ОГ до 600…650 °С. При этих значениях температуры скопившаяся в фильтре сажа окисляется до диоксида углерода. После проведения активной регенерации полностью восстанавливается способность фильтра задерживать содержащуюся в ОГ сажу. Степень заполнения фильтра сажей постоянно контролируется ЭБУ путем расчета его газодинамического сопротивления.

Перепад давления на сажевом фильтре определяется посредством дифференциального датчика давления. Объемный расход ОГ рассчитывается ЭБУ двигателем по величинам массового расхода воздуха на входе в двигатель и температуры ОГ перед фильтром. Массовый расход ОГ [6] практически равен массовому расходу воздуха, который определяется посредством расходомера.

Объемный расход ОГ рассчитывается ЭБУ двигателем по величинам массового расхода воздуха на входе в двигатель и температуры ОГ перед фильтром. Использование «SCR» для отечественного автомобилестроения обеспечивает норма «Евро-5».

Сущность процессов каталитической нейтрализации, обеспечивающихся λ-зондом, заключается во взаимодействии компонентов ОГ между собой или с избыточным O_2.

Восстановление NO_x окисью углерода может быть представлено химическими реакциями:

$$2NO + 2CO \rightarrow 2N_2 + 2CO_2, \quad (5)$$

$$2NO + 5H_2 \rightarrow 1/2 \cdot N_2 + H_2O, \quad (6)$$

$$2NO + H_2 \rightarrow N_2O + H_2O, \quad (7)$$

$$2NO + 5CO + H_2O \rightarrow NH_3 + 5CO_2. \quad (8)$$

Наличие в ОГ свободного водорода сопровождается протеканием химической реакции:

$$2NO + 5H_2 \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O \quad (9)$$

В окислительном катализаторе протекает ряд побочных химических реакций:

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2, \quad (10)$$

$$H_2 + NO \rightarrow H_2 + H_2O + 1/2N_2, \quad (11)$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2 \cdot CO_2, \quad (12)$$

$$CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2, \quad (13)$$

$$C_mH_n + (m + n/4)O_2 \rightarrow mCO_2 + (n/2)H_2O, \quad (14)$$

$$C_mH_n + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2, \quad (15)$$

$$H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O, \quad (16)$$

$$C_mH_n + O_2 \rightarrow NO = N_2 + H_2O + CO_2. \quad (17)$$

Селективность катализатора проявляется в его способности промотировать реакции (11, 12, 5…8) раньше реакции (13). Кроме того, реакции (5) и (7) должны предшествовать (14). Промоторы (лат. Promoveo – продвигаю) представляют собой вещества (платины, иттрия), добавление которых в небольших количествах к λ-зонду и катализатору увеличивает их активность и селективность.

Внутреннее сопротивление λ-зонда зависит от температуры. Надежное регулирование возможно при температуре выше 350 °С (необогреваемый λ-зонд) или 200 °С (обогреваемый λ-зонд). В ЭБУ поступают сигналы датчика кислорода, преобразуемые в команду параметра для ЭБУ, обогащающего или обедняющего горючую смесь. Датчик образует двухуровневый сигнал напряжением 0…1000 мВ. Оптимальные значения направляемых в ЭБУ сигналов составляют 50…100 мВ и 850…950 мВ.

Для снижения выбросов NO_x [1, 2] наиболее перспективно применение нейтрализатора адсорбционно-каталитического типа «Denox». «Denox» нейтрализаторы работают с подачей в систему выпуска аммиака NH_3, мочевины $(NH_2)_2CO$ или углеводородного топлива. Применение мочевины снижает на 100 °С температуру начала химических реакций.

Различают пассивную и активную регенерацию сажевого фильтра с каталитическим покрытием.

Регенерация фильтра предотвращает повышение сопротивления фильтра путем удаления из него сажи. В процессе регенерации накопленные в фильтре частицы сажи выжигаются (окисляются).

Различают регенерацию сажевого фильтра путем применения присадок к ДТ или применения каталитического покрытия фильтрующего элемента.

Систему очистки газов с применением присадок к ДТ применяют на автомобилях, у которых сажевый фильтр находится на относительно большом расстоянии от двигателя. В этом случае температура ОГ на входе в фильтр недостаточна для выжигания сажи. Применение присадки к топливу снижает температуру выжигания сажи. Окислительный нейтрализатор с температурой 620 °С и сажевый фильтр с температурой 500 °С конструктивно выполняют раздельно.

Пассивная регенерация обеспечивает выжигание сажи непрерывно без специального вмешательства в управление двигателем.

Температура ОГ при расположении сажевого фильтра вблизи от двигателя при движении на автомагистрали достигает 360…500 °С. При этом протекают реакции взаимодействия частиц сажи с диоксидом азота и превращения их в диоксид углерода. Многоступенчатый процесс протекает непрерывно под слоем платины, выполняющей роль катализатора.

Активная регенерация обеспечивает выжигание частиц сажи в условиях высоких температур, получаемых в результате направленного управления двигателем. В городских условиях эксплуатации характерны небольшие нагрузки двигателя, для которых характерны невысокие температуры, ОГ не обеспечивает пассивную регенерацию сажевого фильтра.

Частицы сажи не удаляются из фильтра и забивают его каналы. При скоплении в фильтре определенного количества сажи запускается процесс его регенерации, протекающей по командам системы управления двигателем. Процесс активной регенерации продолжается около 10 мин. Температура ОГ повышается до 600…650 °С, что достаточно для окисления сажи до диоксида углерода.

При активной регенерации частички сажи сгорают благодаря высокой температуре ОГ. Частицы сажи скапливаются во впускных каналах SCR. В дальнейшем частицы сажи (углерод) соединяются с кислородом, образуя диоксид углерода:

$$C + O \rightarrow CO_2. \qquad (18)$$

Необходимость проведения активной регенерации определяется ЭБУ по сигналам расходомера воздуха, датчиков температуры ОГ перед и после сажевого фильтра, а также датчика перепада давления на нем.

Чистый сажевый фильтр оказывает небольшое сопротивление потоку ОГ. Заполненный сажевый фильтр оказывает повышенное сопротивление потоку ОГ. При заполнении фильтра сажей до определенной величины система управления двигателем запускает процесс активной регенерации.

Степень заполнения фильтра сажей определяет ЭБУ по его газодинамическому сопротивлению. Высокое сопротивление фильтра является признаком накопления в нем предельно допустимого количества сажи, поэтому ЭБУ двигателем запускает процесс активной регенерации.

Давление наддува поддерживается на уровне, при котором водитель не может заметить перевод двигателя на режим рециркуляции. Перечисленные мероприятия позволяют кратковременно повысить температуру ОГ до 600…650 °С. При этих значениях температуры скопившаяся в фильтре сажа окисляется до диоксида углерода. После проведения активной регенерации полностью восстанавливается способность фильтра задерживать содержащуюся в ОГ сажу.

Степень заполнения фильтра сажей постоянно контролируется ЭБУ путем расчета его газодинамического сопротивления. Перепад давления на сажевом фильтре определяется посредством дифференциального датчика давления.

Чистый сажевый фильтр оказывает небольшое сопротивление потоку ОГ. Заполненный сажевый фильтр оказывает повышенное сопротивление потоку ОГ. При заполнении фильтра сажей до определенной величины система управления двигателем запускает процесс активной регенерации. После проведения активной регенерации полностью восстанавливается способность фильтра задерживать содержащуюся в ОГ сажу. Степень заполнения фильтра сажей постоянно контролируется ЭБУ путем расчета его газодинамическое сопротивления.

Регенерация фильтра предотвращает повышение сопротивления фильтра путем удаления из него сажи. Различают регенерацию сажевого фильтра путем применения присадок к ДТ или каталитического покрытия фильтрующего элемента.

Пассивная регенерация обеспечивает выжигание сажи непрерывно без специального вмешательства в управление двигателем.

Температура ОГ при расположении сажевого фильтра вблизи от двигателя при движении на автомагистрали достигает 360…500 °С. При этом протекают реакции взаимодействия частиц сажи с диоксидом азота и превращения их в диоксид углерода [7].

Активная регенерация обеспечивает выжигание частиц сажи в условиях высоких температур, получаемых в результате направленного управления двигателем. При этом частицы сажи не удаляются из фильтра и забивают его каналы. При скоплении в фильтре определенного количества сажи запускается процесс его регенерации, протекающей по командам системы управления двигателем. Процесс активной регенерации продолжается около 10 мин. Температура ОГ повышается до 600…650 °С, что достаточно для окисления сажи до диоксида углерода.

Необходимость проведения активной регенерации определяется ЭБУ по сигналам расходомера воздуха, датчиков температуры ОГ перед и после сажевого фильтра, а также датчика перепада давления на нем.

Объемный расход ОГ рассчитывается ЭБУ двигателем по величинам массового расхода воздуха на входе в двигатель и температуры ОГ перед фильтром. Массовый расход ОГ практически равен массовому расходу воздуха, который определяется посредством расходомера.

Сопротивление каталитического сажевого фильтра в зависимости от расхода приведено на рис. 3.

При движении автомобиля накатом топливо в цилиндры двигателя не поступает, а температура ОГ не поднимается до необходимого для регенерации фильтра уровня.

Перечисленные мероприятия позволяют кратковременно повысить температуру ОГ до 600…650 °С. При этих значениях температуры скопившаяся в фильтре сажа окисляется до диоксида углерода.

Регенерация фильтра предотвращает повышение сопротивления фильтра путем удаления из него сажи. В процессе регенерации накопленные в фильтре частицы сажи выжигаются (окисляются).

В этом случае температура ОГ на входе в фильтр недостаточна для выжигания сажи. Применение присадки к топливу снижает температуру выжигания сажи. Окислительный нейтрализатор с температурой 620 °С и сажевый фильтр с температурой 500 °С конструктивно выполняют раздельно.

Химический процесс протекает непосредственно в глушителе выпускной системы. На входе процесса происходит реакция окисления NO и NO_2 с мочевиной NH_3, в результате получаем N_2 и H_2O.

Принцип действия системы «Denox» заключается во взаимодействии химической реакции аммиака с NO, в результате которой образуется N_2 и H_2O:

$$H_2NCONH_2 + 3NO = 2NH_3 + CO_2, \qquad (19)$$

$$2NH_3 + 3NO = 2{,}5N_2 + 3H_2O. \qquad (20)$$

Применение аммиака в чистом виде представляет определенные трудности. В Германии концерном «Total» на водной основе создан безопасный заменитель аммиака. Разработанная жидкость без цве-

***Рис. 3**. Сопротивление каталитического нейтрализатора и сажевого фильтра в зависимости от расхода ОГ: 1– заполненный фильтр; 2 – пустой фильтр; 3 – неисправный фильтр*

та и запаха получила название «AdBlue». Она содержит 32,5 % мочевины и 65,5 воды. Температура замерзания ниже минус 11°С. В связи с этим бак подогревают. Безопасный заменитель «AdBlue» представляет собой нетоксичную жидкость без цвета и запаха. Двигатель оснащают электронной системой управления, обеспечивающей точное дозирование жидкости «AdBlue» в выпускной трубопровод. К числу жидких катализаторов можно отнести водный раствор мочевины 32,5 %, применяемый для восстановления NO_x.

Разработанная система нейтрализации ОГ с λ-зондом эффективна для снижения сажи (С) и оксидов азота (NO_x). В этом случае температура ОГ дизелей с разработанной системой нейтрализации ОГ достаточна для окисления C_mH_n и СО, растворимых органических частиц и альдегидов. При высокой температуре в нейтрализаторе диоксид серы (SO_2) окисляется до SO_3, а затем SO_3 реагирует с парами воды, органическими и неорганическими частицами, образуя сульфаты.

В качестве катализатора «Denox» применяют медь и цеолит (эффективен при $t > 350$ °С), а также платину и цеолит (эффективен при $t > 200$ °С).

Наиболее эффективна система нейтрализации ОГ для дизелей, оснащенных пневматическим устройством. При ее отсутствии применяют дополнительное пневматическое устройство. Особенность работы катализатора «Denox» заключается в применении специального дозатора мочевины, электронный импульс на который поступает от ЭБУ. Дозирование мочевины осуществляется ЭМФ, управляющий электронный импульс которой поступает от ЭБУ. Мочевина обеспечивает снижение температуры химической реакции на 100 °С.

Принципиальная схема системы подачи мочевины современных дизелей приведена на рис. 4.

Система нейтрализации ВВ ОГ содержит расходный бак 1 с датчиком 40 температуры и уровня жидкости, связанный через трубопровод *2* с двигателем *6*, модуль *21* дозирования жидкости с блоком управления, форсунка *26* подачи жидкости и смеситель *25* жидкости и воздуха.

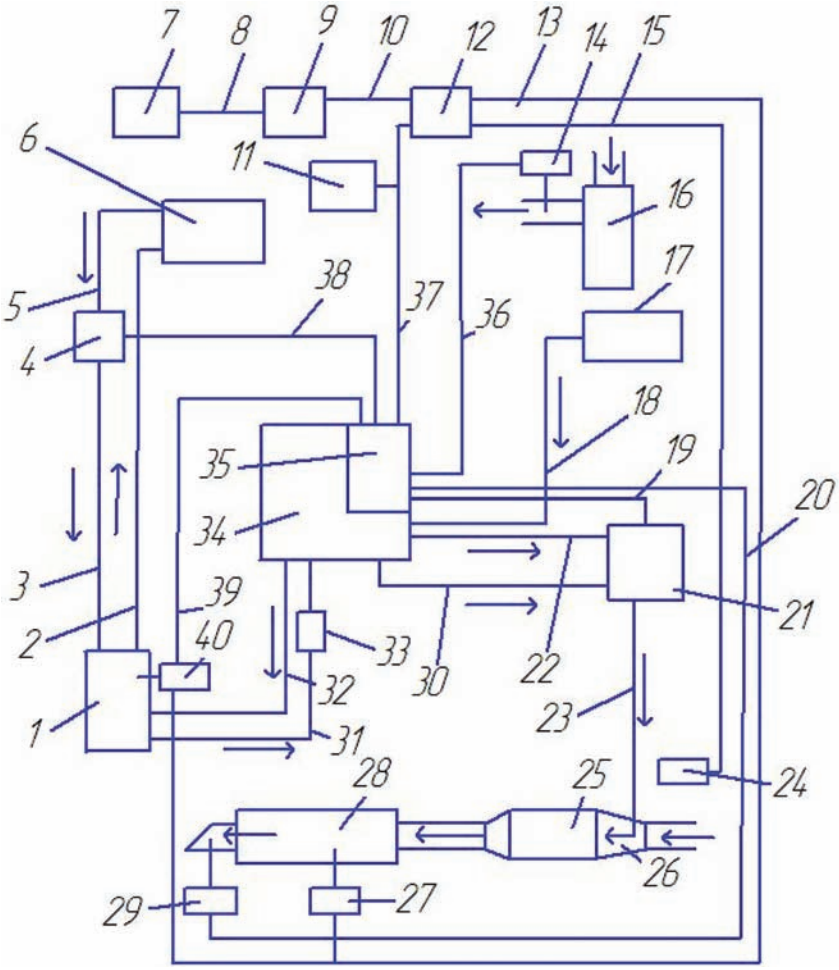


***Рис. 4**. Принципиальная схема системы подачи мочевины современных дизелей:1 – расходный бак; 2 – трубопровод прямой подачи жидкости; 3 – трубопровод возврата жидкости электромагнитного клапана подогрева жидкости; 4 – электромагнитный клапан подогрева жидкости; 5 – трубопровод возврата жидкости двигателя; 6 – двигатель; 7 – индикатор уровня жидкости; 8 – трубопровод расхода жидкости; 9 – блок управления автомобилем; 10 – линия питания блока; 11 – диагностический разъем ОВД; 12 –блок управления двигателем; 13 – трубопровод расхода воздуха; 14 – датчик температуры и влажности воздуха; 15 – трубопровод; 16 – воздушный фильтр; 17 – компрессор сжатого воздуха; 18 – трубопровод подачи сжатого воздуха; 19 – электрический провод; 20 – электрическая цепь датчика оксида азота; 21– модуль дозирования жидкости; 22 – трубопровод подачи воздуха; 23 – дозирующая линия подачи жидкости; 24 – выхлопной датчик температуры перед смесителем жидкости; 25 – смеситель жидкости и сжатого воздуха; 26 – форсунка подачи жидкости; 27– датчик оксида азота; 28 – каталитический нейтрализатор; 29 – датчик температуры ОГ; 30 – трубопровод подачи жидкости; 31 – трубопровод подачи жидкости; 32 – электрическая цепь; 33 – линейный фильтр жидкости; 34 – модуль со встроенным блоком управления; 35 – блок управления диагностическим оборудованием; 36 – электрическая цепь датчика температуры; 37 – электрическая цепь блока управления; 38 – электрическая цепь электромагнитного клапана; 39 – электрическая цепь блока управления; 40 – датчик температуры и уровня жидкости*

Модуль дозирования *21* снабжен смесительной камерой и вентилем. Модуль *34* подачи жидкости содержит встроенный блок управления *35*, дозирующий клапан, клапан сброса воздуха, фильтр предварительной очистки, датчик давления воздуха до ограничителя, центральный реле-ограничитель, кондиционер, датчик давления после кондиционера, диафрагменный насос подачи жидкости, датчики температуры, топливный фильтр, датчик давления жидкости и датчик оксидов азота NO_x.

Воздушный ресивер находится под давлением 1,0 МПа. Форсунка распыляет жидкость сжатым воздухом под давлением 0,35 МПа.

Датчик уровня жидкости использует признак ультразвука. Датчик NO_x содержит сенсорный элемент и ЭБУ, соединенные электрической цепью.

Жидкость впрыскивается форсункой *26* в поток ОГ перед смесителем *25* жидкости и распыляющего воздуха. Мочевина преобразуется в аммиак, смешивается с остальными ОГ и вместе с ними поступает в катализатор SCR, где аммиак (NH_3) и оксиды азота (NO_x) преобразуются в водяной пар и поступают в атмосферу.

Активность адсорбционно-каталитического метода типа «Denox» достигает 90 %. Сначала из водного раствора мочевины под воздействием высокой температуры ОГ образуются CO_2 и NH_3. В дальнейшем аммиак, взаимодействуя с оксидами азота (NO_x), восстанавливает их до азота (N_2). В случае использования аммиака для получения мочевины на борту автомобиля применены специальные емкости и система дозирования, обеспечивающая подачу в соответствии с режимом работы дизеля.

Мочевина представляет собой недорогой химикат, выделяющий при нагревании аммиак, расщепляющий NO_x на N_2 и O_2. Масса азота (M_{N2}) при полном сжигании 1 кг дизельного топлива составляет

$$M_{N_2} = l_o \cdot g_N , \qquad (21)$$

где l_o – теоретически необходимое количество воздуха для полного сжигания 1 кг топлива, 14,5 кг; g_a – массовая доля азота в 1 кг воздуха, равная 0,71.

Суммарное количество NO_x при сжигании 1 кг топлива достигает 82 г. Согласно расчетам химических реакций для расщепления 100 г NO_x необходимо 4,1 г мочевины, так как при сжигании 1 кг топлива получает 82 г NO_x. Используя математическую пропорцию, получим необходимое количество мочевины для выполнения реакции с NO_x при сжигании 1 кг топлива, равное 0,035 кг. Для распыления 1 кг мочевины необходимо 8,75 кг воздуха. Расход мочевины составляет 3,5 см^3/л топлива.

Обработка ОГ дизелей в каталитическом окислительном нейтрализаторе при температуре свыше 250 °С концентрация CO обеспечивает уменьшение до 85…90 %, а C_mH_n – 75…80 %. При температуре ниже 300 °С эффективность нейтрализатора невысока. На режимах пуска и прогрева используют дополнительный стартовый нейтрализатор, обеспечивающий низкий выброс CO, C_mH_n и NO_x.

Средний расход аммиачной жидкости составляет 6 % от потребляемого дизтоплива. Максимальная вместимость бака составляет 100 л. Запас жидкости обеспечивает пробег 5000 км магистрального автопоезда. Стоимость жидкости «AdBlue» в 4 раза выше базового топлива.

Реакция протекает в присутствии катализатора:

$$8NH_2 + 6NO_2 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O , \qquad (22)$$

$$4NH_3 + 4NO \rightarrow 4N_2 + 6H_2O , \qquad (23)$$

$$2NH_3 + NO + NO_2 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O , \qquad (24)$$

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow 2NH_2 + CO_2 , \qquad (25)$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 , \qquad (26)$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 , \qquad (27)$$

$$4HC + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O . \qquad (28)$$

Активность метода каталитической нейтрализатора ОГ достигает 90 %. Сначала из водного раствора «AdBlue» под воздействием высокой температуры ОГ образуются CO_2 и NH_3. В дальнейшем аммиак, взаимодействуя с NO_x, восстанавливает их до N_2. В случае использования аммиака или мочевины на борту автомобиля необходимо иметь специальные емкости и систему дозирования, обеспечивающую подачу в соответствии с режимом работы дизеля.

Модуль подачи жидкости и распыляющего воздуха представлен на рис. 5.

Модуль подачи жидкости и распыляющего воздуха содержит топливный бак 1 для жидкости, подающий мембранный насос 5, клапан *6* сброса воздуха, дозирующий модуль *12* и форсунку подачи жидкости *14* и кабель *2* обогрева трубопровода *10* прямой подачи топлива.

Внутренние трубопроводы дозирующего модуля *12* подачи, а также насос *5* и фильтр *27* обогреваются электрическим кабелем *2*.

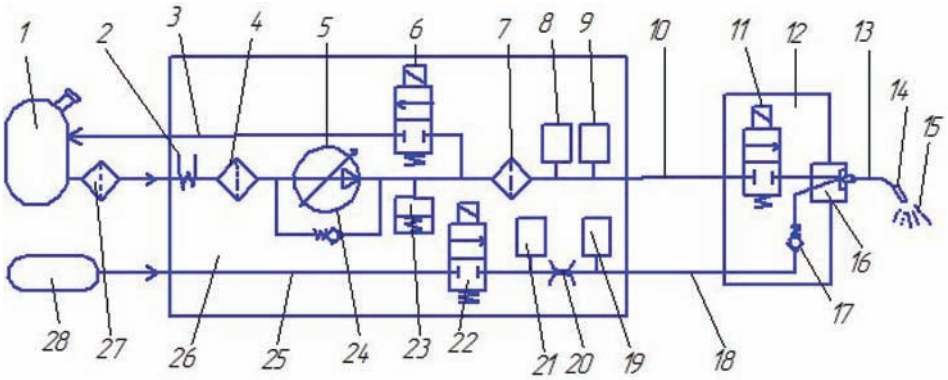


***Рис. 5**. Модуль подачи мочевины и распыляющего воздуха: 1 – топливный бак; 2 – кабель обогрева; 3 – трубопровод возврата топлива; 4 – предварительный фильтр 100 мк; 5 – мембранный насос; 6 – клапан сброса воздуха; 7 – главный фильтр 10 мк; 8 – датчик температуры мочевины; 9 – датчик давления мочевины; 10 – трубопровод прямой подачи мочевины; 11 – клапан; 12 – дозирующий модуль; 13 – трубопровод подачи мочевины и воздуха; 14 – форсунка; 15 – факел; 16 – смеситель мочевины и воздуха; 17 – обратный клапан; 18 – линия; 19 – датчик давления воздуха после дросселя; 20 – дроссель; 21 – датчик давления воздуха перед дросселем; 22 – регулирующий воздушный клапан; 23 – обратный клапан; 24 – обратный клапан; 25 – трубопровод прямой подачи воздуха; 26 – модуль; 27 – фильтр 300 мк; 28 – воздушный ресивер 1,0 МПа*

Система нейтрализации NO_x оснащена жидкостным мембранным насосом *5*, обеспечивающим подачу мочевины из бака *1* к ЭМФ *14*. Давление в системе впрыска составляет 0,3…0,6 МПа. В системе применен серийный насос *5* с электроприводом, аналогичный системе с электронным впрыском топлива.

Система подачи распыляющего воздуха содержит воздушный ресивер *28*, регулирующий воздушный клапан *22*, дроссель *20*. В дозирующем модуле *12* жидкость смешивается с распыляющим воздухом и в распыленном виде смесь в виде факела *15* подается в поток ОГ. Дозирование жидкости обеспечивается блоком управления ДВС.

Система содержит расходный бак *1*, связанный через трубопровод *10* подачи мочевины с форсункой *14*, модуль *2* дозирования, форсунка *14* подачи жидкости и смеситель *16* мочевины и воздуха.

Устройство дозирования биотоплива содержит топливный бак, насос и ЭМФ с пневматической системой распыливания. Биотопливная смесь поступает непосредственно из отдельной емкости через управляемый регулятор его расхода. Требуемый состав биотоплива определяется в ЭБУ на основе информации показателей сгорания и режима работы, поступающих с функциональных датчиков системы управления.

Дозатор *12* снабжен смесительной камерой *16* и клапаном *11*. Модуль *26* подачи жидкости содержит дозирующий клапан, клапан сброса воздуха, фильтр предварительной очистки, датчик давления воздуха до ограничителя, кондиционер, датчик давления после кондиционера, насос подачи жидкости, датчики температуры, фильтр, датчик давления жидкости.

Воздушный ресивер *28* находится под давлением 1,0 МПа. Форсунка распыляет мочевину под давлением 0,36 МПа. Трубопроводы прямой и обратной подачи жидкости.

Дозирующий модуль *12* предназначен для подачи жидкости и воздуха. Он содержит бак *1* для жидкости, подающий мембранный насос *3*, клапан выпуска воздуха *4*, дозирующий модуль *16* и форсунку подачи *14* мочевины и воздуха и кабель обогрева *2*.

Все внутренние трубопроводы модуля подачи Б, а также насос и фильтр (в модуле подачи) обогреваются электричеством обогрева бака жидкости и внешних трубопроводов, проведены трубные змеевики, в которых под управлением магнитного клапана циркулирует охлаждающая жидкость. Датчик уровня жидкости использует признак ультразвука. Жидкость впрыскивается в поток части ОГ перед смесителем жидкости, преобразуется в аммиак, смешивается с остальными ОГ и вместе с ними поступает в катализатор SCR (понижающий катализатор).

Система подачи воздуха содержит ресивер *28*, регулирующий воздушный клапан *22*, дроссель *20*. В дозирующем модуле жидкость с воздухом смешивается с воздухом и в мелко распыленном виде подается в поток ОГ. Дозирование жидкости задается блоком управления EDC.

ЭМФ оснащена воздушным каналом, сообщенным с пневматической системой автомобиля. Воздушный поток, проходящий через ЭМФ, смешивается с мочевиной и впрыскивается в выхлопной трубопровод в виде облака капель.

Средний расход аммиачной жидкости составляет 5 % от потребляемого дизтоплива. Максимальная вместимость бака составляет 100 л. Запас жид-

кости обеспечивает пробег 5000 км магистрального автопоезда.

Система подачи жидкости «AdBlue» оснащена устройством ее подогрева. Стоимость жидкости «AdBlue» в 4 раза выше базового топлива.

При обработке ОГ дизелей в каталитическом окислительном нейтрализаторе при температуре свыше 250 °С концентрация СО обеспечивает уменьшение до 85…90 %, а C_mH_n – 75…80 %. При температуре ниже 300 °С эффективность нейтрализатора невысока.

Средний расход аммиачной жидкости составляет 5 % от потребляемого дизтоплива. Максимальная вместимость бака составляет 100 л. Запас жидкости обеспечивает пробег 5000 км магистрального автопоезда.

Система подачи жидкости «AdBlue» оснащена устройством ее подогрева. Стоимость жидкости «AdBlue» в 4 раза выше базового топлива.

В качестве катализатора «Denox» применяют мед и цеолит (эффективен при $t > 350$ °С), а также платину и цеолит (эффективен при $t > 200$ °С).

Наиболее эффективна система нейтрализации ОГ для дизелей, оснащенных пневматическим устройством. При ее отсутствии применяют дополнительное пневматическое устройство. Особенность работы катализатора «Denox» заключается в применении специального дозатора мочевины, электронный импульс на который поступает от ЭБУ. Дозирование мочевины осуществляется ЭМФ, управляющий электронный импульс которой поступает от ЭБУ.

Сопротивление противодавления ОГ перед нейтрализатором составляет 80 ГПа и не более 25 % общего сопротивления выпускной системы. Наблюдение за работой нейтрализатора в течение 1200 ч эксплуатации в различное время года показало, что эффективность очистки газов за указанный период несколько ухудшилась: содержание СО возросло в 1,05 – 1,14 раза; NO_x – в 1,14…1,15 раза; C_mH_n – 1,44…1,31 раза; твёрдые частицы – в 2,49…2,50 раза. После промывки каталитических блоков в растворе нашатырного спирта и моющем растворе эффективность очистки нейтрализатора восстанавливается на 85–90 %.

Для снижения выбросов NO_x наиболее перспективно применение нейтрализатора адсорбционно-каталитического типа «Denox». Использование «SCR» для отечественного автомобилестроения обеспечивает нормы «Евро-5». Селективный каталитический преобразователь (SCR) обеспечивает нейтрализацию продуктов неполного сгорания и выброс сажи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Анисимов И.А., Чикишев Е.М.** Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на бензине, сжиженном нефтяном и компримированном природном газе по расходу топлива и выбросам вредных веществ // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». 2013. № 12 (81). С. 3–7.

2. **Анисимов И.А., Чикишев Е.М., Иванов А.С.** Оценка приспособленности газодизельных автомобилей методом конструктивных аналогий // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». 2014. № 11 (92). С. 13–18.

3. **Двигатели** на природном газе с блоком управления EGCA. Электрооборудование. Фирма MAN Truck Bus Aktiengtseltschaft, 2011. – 166 с.

4. **Ерохов В.И.** Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика) М: Учебник для вузов. – М: Горячая линия – Телеком. – 2012. – 598 с.

5. **Иванов А.С., Анисимов И.А.** Эффективность газодизельных АТС при работе в низкотемпературных условиях // Автомобильная промышленность. 2011. № 9. С. 15–16.

6. **Иванов А.С., Анисимов И.А., Чикишев Е.М.** Корректирование платы за выбросы вредных веществ с отработавшими газами газодизельными автомобилями в низкотемпературных условиях // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». 2013. № 12 (81). С. 17–20.

7. **Камалтдинов В.Г., Марков В.А., Хрипунов С.А.** Расчетное исследование рециркуляции отработавших газов на показатели рабочего цикла HCCI двигателя // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва 2011. №4 (58). С. 25–32.

8. **Третьяков В.Ф., Талышевский Р.М., Илолов А.М., Третьяков К.В., Матышак В.А., Французова Н.Ф., Тшисвака Мутомбо.** Теоретические основы разработки каталитического получения дивинила из биоэтанола // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». 2013. №3 (72). С. 3–6.

9. **Чикишев Е.М., Анисимов И.А.** Методика расчёта массовых и удельных выбросов вредных веществ в отработавших газах двухтопливных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации// Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо». – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». 2010. № 6 (54). С. 4–7.

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРОЖИДКОСТНОГО РАВНОВЕСИЯ КОМПОНЕНТОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Мамаева Т.А., Мельников В.Б., Федорова Е.Б. , РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

Проведенный анализ позволяет сделать выбор уравнения состояния наиболее точно описывающего поведение компонентов природного газа. Поскольку, система находится преимущественно в криогенном состоянии для расчета равновесия бинарных систем, использовалось уравнение Пенга–Робинсона. Полученные закономерности при переходе к более сложным системам позволят судить о взаимном влиянии компонентов.

Ключевые слова: природный газ, СПГ, уравнение состояния, уравнение Пенга–Робинсона

SELECTION AND APPLICATION OF EQUATIONS OF STATE TO STUDY THE LIQUID-VAPOR EQUILIBRIUM COMPONENTS OF LIQUEFIED NATURAL GAS

Mamaeva T. A., Melnikov, V. B., Fedorova, E. B. , Gubkin Russian state University of oil and gas named I. M. Gubkin

The analysis allows one to make the choice of equation of state most accurately describes the behavior of components of natural gas. Since the system is mainly in cryogenic able to calculate the equilibrium of binary systems equation was used Peng–Robinson. The obtained regularities, in the transition to more sophisticated systems will allow you to judge the influence of the mutual influence of the components.

Keywords: natural gas, LNG, equation of state, equation of Peng–Robinson

Введение

В настоящее время сжиженный природный газ (СПГ) является одним из важнейших игроков в мировой торговле энергоносителями. Увеличение роли СПГ в удовлетворении энергетических потребностей многих стран характеризуется усовершенствованием технологий на всех стадиях производственно-сбытовой цепочки, наращиванием мощностей по сжижению и регазификации. С 2000 г. суммарный мировой спрос на природный газ рос на 2,7 % ежегодно. В то же время мировой спрос на СПГ за указанный период увеличивался на 7,6 % в год, т. е. почти в три раза быстрее. Общая картина поставок природного газа в мире представлена на рис. 1. (1, 2)

В 2013 г. уровень добычи природного газа в России составил 17,9 % от мирового. При этом Россия занимает всего 4,3 % мирового рынка СПГ. Неудивительно, что в сентябре того же года Минэнерго выступило с амбициозным заявлением – к 2030 г. Россия будет занимать 20 % мирового рынка СПГ с существующих 4,5 %. Благотворные условия для осуществления этих планов дает внесение изменений в Федеральный закон «Об экспорте газа». (3). Таким образом, к экспорту сжиженного газа помимо «Газпрома» могут быть допущены «Роснефть» и проект «Ямал СПГ». Именно эти компании на данный момент являются основными претендентами на завоевание мирового рынка сжиженного природного газа.

СПГ в России

Развитие промышленности СПГ в России носит стратегический характер. В России сосредоточено 25 % мировых запасов природного газа. Таким образом, развитие газовой отрасли, в том числе выбор наиболее оптимальных и эффективных направлений экспорта природного газа, напрямую связано с развитием российской экономики в целом. Именно благодаря данному энергоносителю Россия может претендовать на лидерство в мировой энергетике, так как вопросы поставок энергоресурсов на мировой рынок, наряду с экономической составляющей, имеют и серьезную политическую компоненту.

СПГ предоставляет возможности вовлекать в коммерческое использование удаленные запасы газа, проводить диверсификацию направлений поставок газа, что крайне важно для российского экспорта газа.

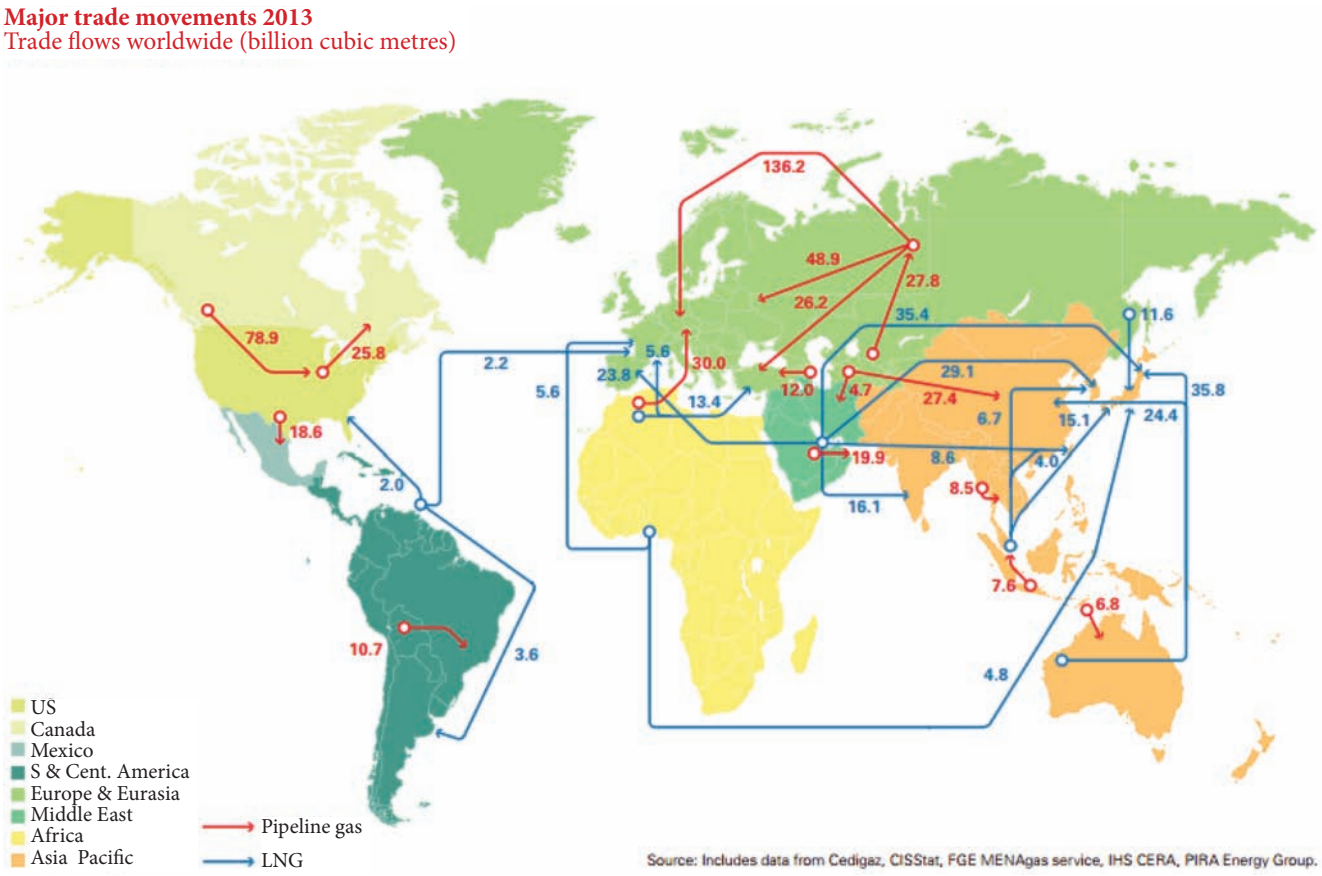


Рис. 1. *Общая картина поставок природного газа по трубопроводам и в виде СПГ*

Особого внимания требуют технологии производства СПГ. На сегодняшний день более 71 % мощностей производства СПГ осуществляется с применением холодильных циклов со смешанными хладагентами (4). Применение смешанных хладагентов связано с необходимостью максимально приблизить кривые охлаждения природного газа и используемого хладагента с целью уменьшения энергетических затрат на сжижение. Поскольку состав хладагента зависит от состава сжижаемого газа, то для каждого месторождения приходится решать задачу подбора хладагента. Создание более эффективных техники и технологий СПГ и сжиженных углеводородных газов (СУГ) связано с проблемой точности предсказания термодинамических свойств углеводородных смесей. Для предсказания и корреляции свойств жидкостей было создано множество уравнений состояния.

Методы описания фазового поведения систем углеводородов

С того времени как в 1873 г. Ван-дер-Ваальс представил миру свое уравнение, были предложены многочисленные уравнения состояния, описывающие фазовое поведение чистых веществ и их смесей как в газообразном так и в жидком состояниях.

Эти уравнения, как правило, были разработаны для описания поведения чистых веществ, а затем, используя правила смешения – смесей углеводородов. Правила смешения являются простым средством расчета параметров смеси через уже имеющиеся значения для чистого вещества. Уравнения состояния делятся на две основные группы: кубические и некубические. Некубических уравнения лучше описывают объемное поведение чистых веществ, но непригодны для сложных углеводородных смесей (5). Например, уравнение Бенедикта–Вебба–Рубина, модифицированное Старлингом (*BWRS*) (6), является более точным, чем кубическое уравнение состояния Пенга–Робинсона для описания *pVT* чистых веществ, но менее точным применительно к описанию парожидкостного равновесия углеводородных смесей (Katz and Firoozabadi, 1978). Применение уравнений типа *BWRS* требует много времени и усилий из-за своего большого объема и значительного количества параметров, что делает его не пригодным для исследований сложных углеводородных смесей. Что еще более важно, для многокомпонентных систем – каждый параметр должен быть определен с использовани-

ем правила смешения, которое в лучшем случае является весьма условным (7). Хотя с помощью уравнения *BWRS* (8) могут быть получены приемлемые результаты фазового поведения, широкое применение нашло более простое, но более надежное кубическое уравнение состояния Ван-дер-Ваальса.

В литературе приведено множество примеров сравнения уравнений состояния (9). Во всех исследованиях подчеркивается тот факт, что в настоящее время не существует уравнения состояния, которое могло бы дать одинаково точное описание всех термодинамических свойств различных видов пластовых флюидов. Оказывается, что некоторые уравнения состояния дают лучшие результаты, чем другие только для определенных типов описываемых систем, тогда как другие уравнения состояния являются предпочтительными для расчета определенных свойств. Например, уравнение состояния *PR* предпочтительно для фазовых переходов (10). Также, это приводит к проведению серий *pVT*-экспериментов для уточнения уравнений состояния. Для выбора расчетной модели исследования поведения природного газа необходимо рассмотрение описанных в литературе общих кубических уравнение состояния, используемых в инженерных расчетах и сравнение их сильных и слабых сторон.

Уравнения состояния, применяемые в инженерных расчетах нефтегазовой промышленности

С того времени как в 1949 г. Редлих и Квонг (*RK*) сформулировали свое уравнение состояния, были проведены многочисленные исследования и получены модификации уравнения состояния *RK*. Наиболее известными и широко использующимися модификациями уравнений состояния *RK* для углеводородных систем и их смесей являются уравнения Соаве (*SRK*) (11) и Пенга–Робинсона (*PR*) (12). Вероятно, они являются наиболее удачными кубическими уравнениями состояния для расчета парожидкостного равновесия (13). В обоих уравнениях *SRK* и *PR* в качестве третьего параметра использован ацентрический фактор Питцера ω (см. (9)). Ацентрический фактор рассчитывается через критические параметры и характеризует отклонения свойств веществ от принципа соответствующих состояний, т. е. от сферичности молекулы вещества. Оба эти уравнения имеют фиксированное значение критического коэффициента сжимаемости для всех веществ, в результате прогнозируемые значения плотности жидкости значительно отличаются от их экспериментальных данных.

Уравнение состояния Соаве–Редлиха–Квонга (SRK)

В 1972 г. Соаве усовершенствовал уравнение 3 *RK*, сделав попытку учесть молекулярное строение и полярность, заменив член $\alpha/T^{0,5}$ на член с более обобщённой зависимостью от температуры $\alpha(T)$:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{T^2 v(v+b)} \quad . \qquad (3)$$

Он показал, что выражение для температурной зависимости параметра «*a*» делает уравнение применимым для расчета давления паров широкого класса веществ. Следующее уравнение известно как уравнение состояния *SRK*:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(\mathrm{T})}{v(v+b)} \quad , \qquad (4)$$

где

$$a(T) = \alpha(T) \cdot 0.42748 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \ , \qquad (5)$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} \ , \qquad (6)$$

$$\alpha = \left[1 + S(1 - T_r^{0.5})\right]^2 \ , \qquad (7)$$

$$S = 0.480 + 1.574\omega - 0.17\omega^2 \ , \qquad (8)$$

$$\omega = -1 - \lg P_r \quad \text{при} \quad T_r = T/T_c \ . \qquad (9)$$

Соаве предложил простую форму расчета α для всех чистых веществ, пользуясь ацентрическим фактором Питцера (Pitzer et al, 1955). Соаве сравнил значения давления пара, полученные по его модификации и исходному уравнению *RK* для ряда веществ, доказав значительные преимущества его модификации. Уравнение *SRK* вполне способно предсказать парожидкостное равновесие, но оно не дает достаточную точность расчета плотности насыщенной жидкости. (7)

Уравнение состояния Пенга–Робинсона (PR)

В 1976 году Пэнгом и Робинсоном была разработана другая разновидность уравнения Ван-дер-Ваальса, получившая широкое применение в инженерной практике моделирования процессов переработки нефти и газа. Поскольку одной из проблем уравнения состояния *SRK* было описание плотности жидкой фазы, главной мотивацией авторов было повышение точности ее расчета. Наряду с этим стояли задачи улучшения описания свойств вблизи критической точки, при этом не

вводя более одного параметра бинарного взаимодействия. Хотя улучшение определения плотности и было достигнуто, уравнение не может описать поведение системы вблизи критической точки. Пенг и Робинсон предложили следующее двуконстантное кубическое уравнение состояния относительно молярного объема:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m(V_m + b) + b(V_m - b)}, \quad (10)$$

где обобщенное выражение для параметра, зависящего от температуры задается следующим образом:

$$a(T) = \alpha(T) \cdot 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (11)$$

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c}. \quad (12)$$

Альфа-функция выражена следующим образом:

$$\alpha(T) = \left[1 + m(1 - T_r^{0.5})\right]^2, \quad (14)$$

$$m = 0.37464 + 1.5422\omega - 0.26992\omega^2, \quad (15)$$

В 1978 г. для веществ с ацентрическим фактором $\omega \geq 0.49$ было получено по выражение

$$m = 0.37964 + 1.48503\omega - 0.16442\omega^2 + 0.016666\omega^3. (16)$$

Основное отличие уравнений состояния *SRK* и *PR* заключается во введении в знаменатель члена уравнения, характеризующего действие сил притяжения $b(\upsilon - b)$, что привело к изменению значения z-фактора в критической точке. Для всех модификаций уравнения *RK* z_c = 0,3333, а для уравнения *PR* z_c = 0,3074. Сравнение значений давления паров для некоторого ряда веществ, полученных по уравнениям состояния *SRK* и *PR* с экспериментальными данными, показывает, что ошибка мала для обоих уравнений, хотя уравнение *PR* и работает лучше (5). Значения энтальпий рассчитанных по обоим уравнениям показывают близкие значения отклонений от экспериментальных. Уравнение *PR* более простое и надежное, чем многие другие. Тем не менее, как уравнение *PR* так и уравнение *SRK* несостоятельно для соединений C_{10} – C_{11} и более тяжелых компонентов.

Шифт-параметр

Сравнение расчетных значений молярного объема жидкой фазы двухпараметрических уравнений с экспериментальными данными для чистых соединений выявило систематическое отклонение, которое было почти постоянным в широком диапазоне давлений. Таким образом, вычитание из рассчитанного по уравнению молярного объема постоянного слагаемого могло улучшить точность расчета плотности жидкости. В 1982 г. Пенеле и Рэузи для улучшения описания *pVT*-свойств паровой и жидкой фаз ввели в уравнение *SRK* параметр ***c***. Их модификация значительно улучшает описание плотности жидкости, но это требует ввода дополнительного четвертого параметра, к уже используемым в уравнении *SRK* критической температуре, критическому давлению и ацентрическому фактору. Пенеле и др. (14) были первыми, кто ввел понятие шифт-параметра, и применил ее к уравнению *SRK*,

$$v^c = v - c, \quad (17)$$

где v^c – скорректированный молярный объем, а *c* – поправочный параметр, определяемый через соответствующие экспериментальные и расчетные объемы жидкости при T_r = 0,7. Шифт-параметр в целом улучшает точность определения плотности жидкости и имеет минимальное влияние на плотность пара при низких и средних давлениях, так как его молярный объем является относительно большим по сравнению со значением ***c***. Тем не менее, желательно уточнить объем газовой фазы третьим параметром, особенно вблизи критической точки, где свойства двух фаз очень близки. Пенеле и др. определили поправочный параметр ***c*** как

$$c = 0.40768(0.29441 - Z_{RA}) \frac{RT_c}{P_c}, \quad (18)$$

Z_{RA} – коэффициент сжимаемости Рекета.

Трехпараметрические уравнения состояния

С 1979 г. основным направлением развития кубических уравнений состояния было увеличение числа коэффициентов. В двухпараметрическом уравнении состояния критический фактор сжимаемости Z одинаков для всех веществ, в то время как для углеводородов Z_c колеблется в пределах от 0,2 до 0,3. Введение в уравнение третьего параметра улучшает описание системы. Третий параметр обычно определяется путем использования данных по объему.

Уравнение состояния Исмаилзаде–Рошанфекр (ER)

Использование фиксированного значения коэффициента критической сжимаемости для всех веществ в уравнениях *PR* и *SRK* приводит к зна-

чительному отклонению расчетных данных плотности жидкости от экспериментальных. С другой стороны, некоторые уравнения состояния, предложенные Шмидтом, Венцелем (15), Пателем и Тейем (16), содержат третий параметр, что привело к введению критической сжимаемости, характерной для каждого вещества. Это позволило им получить более приближенные к экспериментальным значения плотности жидкости при определенной температуре. Их работа показала, что оптимальное значение Z_c вещества не совпадает с экспериментальной критической сжимаемостью исследуемой жидкости. Исмаилзаде и Рошанфекр, использовав обобщенную теорию Ван-дер-Ваальса, на основе кубического уравнения состояния создали модель межмолекулярного притяжения. Предложенное ими уравнение состояния выглядит следующим образом (13):

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+c)+c(v-c)}, \qquad (19)$$

где "*a*" является функцией температуры, а "*b*" и "*c*" константы. В этом уравнении состояния $a(T)$ и b выводятся как

$$a(T_c) = \Omega_a \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \cdot \alpha(T_r), \qquad (20)$$

$$b = \Omega_b \frac{RT_c}{P_c}, \qquad (21)$$

$$c = \Omega_c \frac{RT_c}{P_c}. \qquad (22)$$

Плотность жидкости по этому уравнению рассчитывается более точно, чем по уравнениям *PT* и *PR*. Результаты расчета давления пара чистых компонентов для легких углеводородов показали, что уравнение (19) имеет самый низкий показатель отклонения, а для тяжелых углеводородов самые низкие отклонения показало уравнение состояния *PT* (для $T_r < 0{,}75$). Термодинамические свойства легких углеводородов, полученные по уравнению (19), превосходят точность других уравнений состояния, изученных в данной работе. Кроме того, установлено, что уравнение состояния *ER* является наиболее точным для прогнозирования свойств системы газ–конденсат, в то время как уравнения *SRK* и *PR* остаются надежным для описания поведения нефти.

Уравнение состояния Пателя–Тея (PT)

Патель NC, Тея А.С. (1982) модифицировал член, отвечающий за действие сил притяжения, включив более гибкий третий параметр. (16) Авторы обнаружили, что использование истинного критического фактора сжимаемости приведет к общей потере точности в описании плотности.

Уравнение состояния Шмидта–Венцеля (SW)

Расчет плотности жидкости при $T_r = 0{,}7$ по *SRK* и *PR* для чистых веществ связан с заметным отклонением от истинных значений. Обратите внимание, что *SRK* является более надежным для веществ с небольшим ацентрическим фактором, в то время как *PR* дает достоверные данные для соединений с ацентрическим фактором порядка 1/3. Исходя из вышеизложенного наблюдения, Шмидт и Венцель включили ацентрический фактор в качестве третьего параметра в член, характеризующий действие сил межмолекулярного притяжения следующим образом:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a_c \alpha}{v^2 + (1+3\omega)bv - 3\omega b^2}. \qquad (23)$$

Уравнение состояния Шмидта–Венцеля (*SW*) при ацентрическом факторе, равном нулю и 1/3, будет сводиться к уравнениям *SRK* и *PR* соответственно. Следовательно, уравнение *SW* может считаться обобщенным видом уравнения для моделей *SRK* и *PR* (7). Авторы использовали граничные условия в критической точке для определения a_c и b, следующим образом:

$$a_c = \Omega_{ac} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}, \qquad (24)$$

$$b = \Omega_b \frac{RT_c}{P_c}, \qquad (25)$$

где

$$\Omega_{ac} = \left[1 - \eta(1-q)\right]^3, \qquad (26)$$

$$\Omega_{ac} = \eta q. \qquad (27)$$

В приведенных выше уравнениях η является критическим фактором сжимаемости и связан с коррелирующим параметром q по уравнению

$$\eta = 1 \big/ \left[3(1+q\omega)\right], \qquad (28)$$

где q определяется как b/υ_c и является наименьшим положительным корнем следующего уравнения:

$$(6\omega+1)q^3 + 3q^2 + 3q - 1 = 0 \qquad (29)$$

со следующим приблизительным значением:

$$q = 0.25989 + 0.0217\omega - 0.00375\omega^2. \qquad (30)$$

Шмидт и Венцель выбрали ту же форму *a*, что была предложена Соаве, но при этом коэффициент *m*, входящий в уравнение (14), зависит не только от ацентрическим фактора, но и от приведенной температуры. Прогнозируемые значения плотности насыщенной жидкой фазы, однако, примерно на 15 % больше истинных. Это было известно авторам, но было принято в качестве платы за общую оптимальную точность в прогнозируемых по уравнению объемах (7).

Исследование поведения бинарных систем

В результате исследования данных для проведения теоретических расчетов нами было выбрано уравнение *PR*. Расчет проводился с помощью программного комплекса Aspen HYSYS. В данной работе для исследования парожидкостного равновесия чистых углеводородов и бинарных систем на основе метана, этана и пропана при различных составах и термобарических условиях было использовано уравнение состояния *PR* в модификации 1978 г. с использованием стандартных правил смешения. Основными критериями выбора модели расчета были простота и достаточный уровень точности описания поведения легких углеводородов. Выбор данных компонентов природного газа основывается на их допустимом содержании в составе СПГ (см. табл. 1).

Первоначально была определена зависимость коэффициента фазового равновесия метана от температуры при различных давлениях и составах смеси метан–этан (показано на рис. 1). Если говорить о применении уравнения *PR* для индивидуальных углеводородов, то в табл. 1 приведены значения абсолютного отклонения давления насыщенного пара от экспериментальных данных. При переходе к двухкомпонентным смесям точность значительно снижается. Так, при рассмотрении смеси метан–этан среднее абсолютное отклонение составляет 6,86%,

$$K = \frac{y_i}{x_i}. \qquad (31)$$

На следующих графиках представлена зависимость коэффициента фазового равновесия метана от температуры в смесях с этаном и пропаном и этана в смеси с пропаном (рис. 1, 3, 5). Из данных графиков можно сделать выводы о том, что в значительной мере давление влияет на коэффициент фазового равновесия в диапазоне до 10 бар, тогда как при дальнейшем увеличении давления, изменения незначительны. К также зависит от содержания данного компонента в системе, чем больше его количество тем меньшее значение К, соответственно распределение тем больше будет содержание компонента в жидкой фазе.

Состав смесей на всех диаграммах фазового равновесия меняется от кривой к кривой на 10 % (рис. 2, 4, 6). Несложно заметить, что характер кривых фазового равновесия метан–этан при увеличении доли этана в смеси не меняется, однако смещается

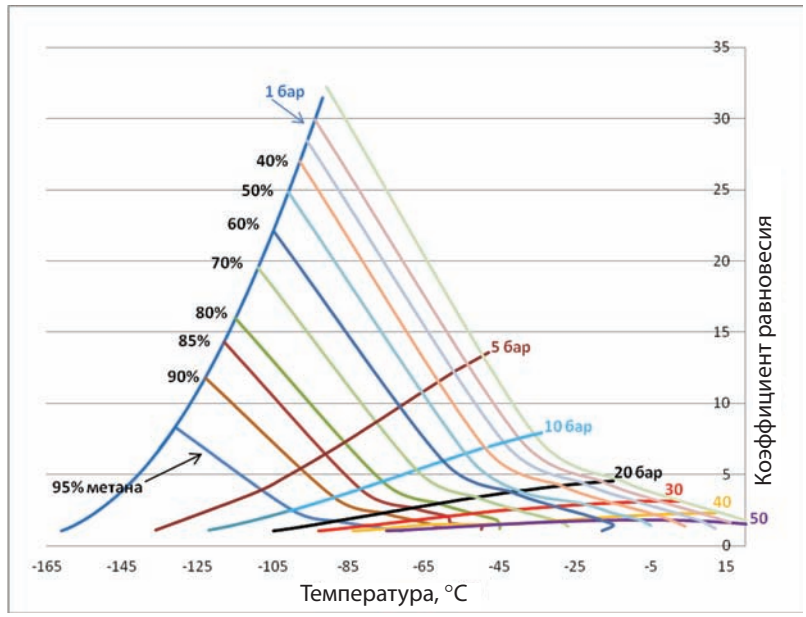


Рис. 1. *Зависимость коэффициента фазового равновесия метана от температуры при различных давлениях и составах смеси метан-этан*

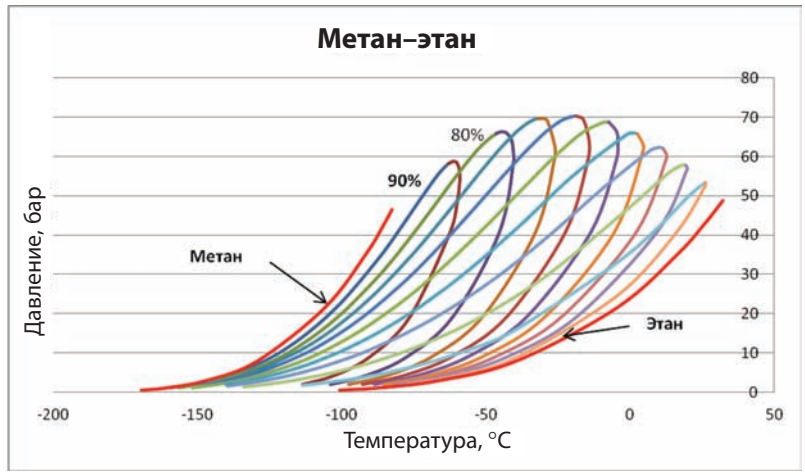


Рис. 2. *T-P диаграмма фазового равновесия чистых метана, этана и их смесей*

Таблица 1

Составы природного газа и СПГ

Компонент	Природный газ, об. %	СПГ, об. % (17)
Метан	60 – 99	87,0 – 99,7
Этан	<12	<9,3
Пропан	< 6	<2,3
Бутаны	< 4	<2,3
Пентаны	< 4	–
Азот	<16	<1,5
Диоксид углерода	< 16	–
Сероводород	< 1	–
Гелий	<0,2	–
Другие компоненты в сумме	<0,2	–

Таблица 2

Коэффициент фазового равновесия метана

Вещество	Приведенная температура	Абсолютное отклонение, %
Метан	0,48-0,99	0,69
Этан	0,3-0,99	3,91
Пропан	0,26-0,98	8,07

в сторону кривой чистого этана (рис. 2). Кривые испарения и конденсации представлены разным цветом, точка перехода соответствует критической точке, для смеси данного состава.

Проведенные исследования показывают, что при постоянном давлении диапазон температур, при которых наблюдается сосуществование фаз для бинарных смесей, зависит от количественного соотношения компонентов смеси, тогда как состав паровой и жидкой фаз – только от давления и температуры.

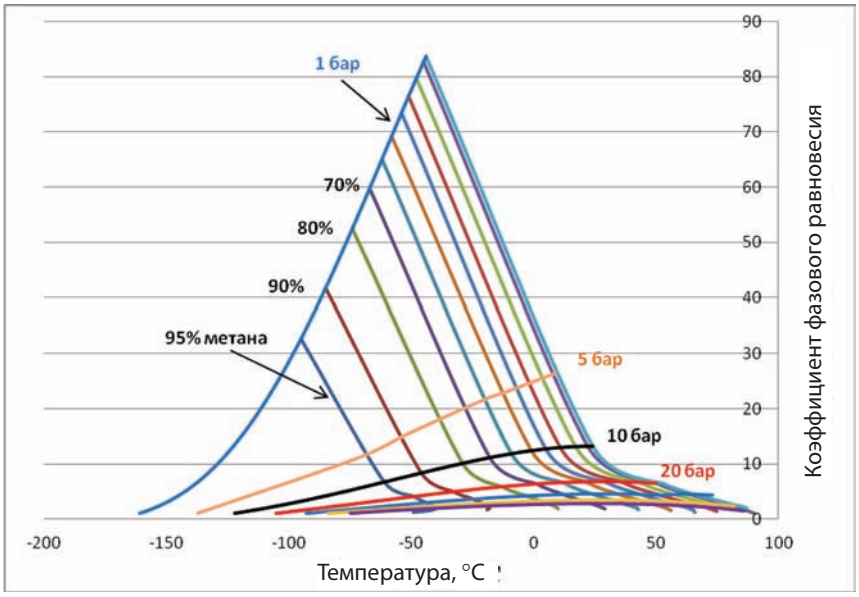


Рис. 3. *Зависимость коэффициента фазового равновесия метана от температуры при различных давлениях и составах смеси метан–пропан*

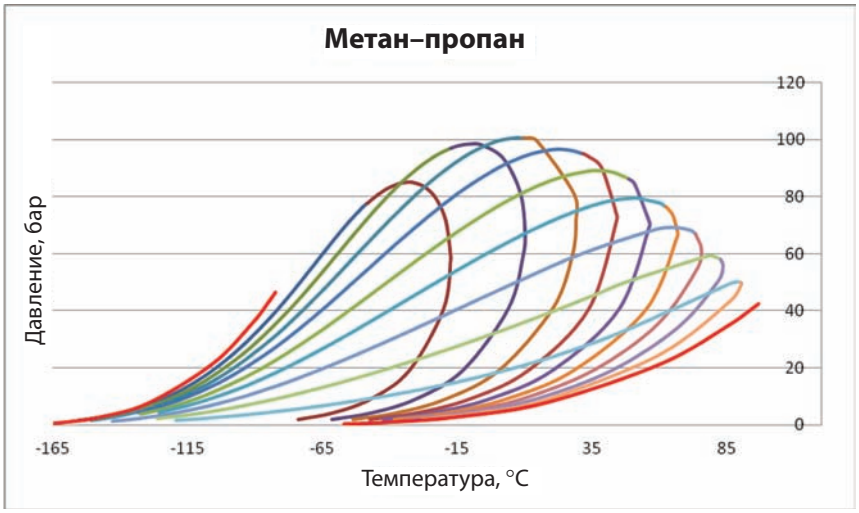


Рис. 4. *T-P диаграмма фазового равновесия чистых метана, пропана и их смесей*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Deutsche** Bank Markets Research, Global LNG: Gorgon & the Global LNG Monster. [В Интернете] 17 Сентябрь 2012 г. [Цитировано: 15 Февраля 2014 г.] http://www.shinnihon.or.jp/industries/oil/knowledge/2013/pdf/2013-03-01.pdf.

2. **BP Statistical** Review of World Energy 2014. [В Интернете] June 2014 г. [Цитировано: 6 Октябрь 2014 г.] http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf.

3. **ФЗ №318** от 30 ноября 2013 года.

4. **Федорова Е.Б.** *Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование.* Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. С. 62–82.

5. **Firoozabadi A.** *Thermodinamics of Hydrocarbon Reservoirs.* б.м. : McGraw-Hill, 1989.

6. **Starling K.E.** *Fluid Thermodynamics Properties for Light Petroleum Systems.* Houston : Gulf Publishing Co., 1973.

7. **Danesh A.** *PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids.* London : Elsevier Science B.V., 1998.

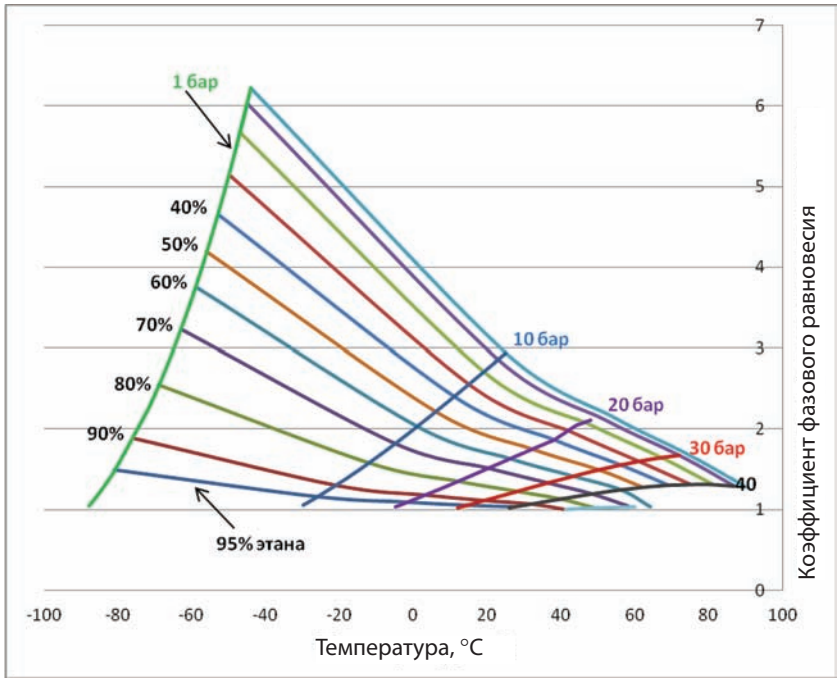


Рис. 5. Зависимость коэффициента фазового равновесия этана от температуры при различных давлениях и составах смеси этан–пропан

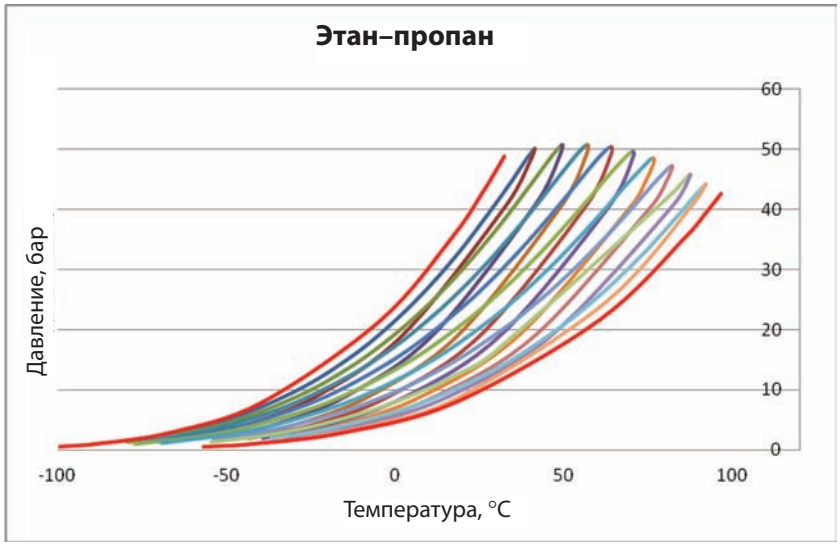


Рис. 6. T-P диаграмма фазового равновесия чистых этана, пропана и их смесей

8. ***A New*** *Approach for Determining Equation-of-State Parameters Using Phase Equilibria Data.* **Starling, K.E.** б.м. : Trans. AIME, 1966 г., SPE Journal, T. Vol.(237). C. 363–371.

9. ***Comparison*** *of equations of state including the generalized Rydberg EOS.* **Sing, B.P.** 2005 г., Physica B, T. Vol. (369). C. 111–116.

10. ***Comparaitive*** *PVT Simulation: An Aplication to Australian Fluid Samples.* **O'Reilly, D.I.** New Orleans, U.S.A. : б.н., 2009.

11. **Soave, G.** Equilibrium Constants from a Modified Redlich-Kwong Equation of State. *Chem. Eng. Sci.* 1972 г., T. 27. C. 1197–1203.

12. **Peng D.Y. and Robinson D.B.** A New Two-Constant Equation of State. *Ind. Eng. Chem.* 1976 г., T. 15, № 1. C. 59–64.

13. **Esmaeilzadeh F., Roshanfekr M.** A new Cubic Equation of State for Reservoir Fluids. *Fluid Phase Equilibria.* 2006 г., T. Vol. (239). C. 83–90.

14. **Peneloux A., Rauzy E. and Freze R.** A Consistent Correction for Redlich-Kwong-Soave Volumes. *Fluid Phase Equilibria.* 1982 г., T. Vol. (8). C. 7–23.

15. **Schmit G. и Wenzel H.** A modified van der Waals type equation of state. *Chem. Eng. Sci.* 1980 г., T. Vol. (35). C. 1503–1511.

16. **Patel N.C., Teja A.S.** A new cubic equation of state for fluids and fluid mixtures. *Chem. Eng. Sci.* 1982 г., T. Vol. (37). C. 463-473.

17. **Foss, M.M.** *Introduction for LNG.* Houston : Center for Energy Economics, 2007.

18. **ГОСТ** 30319.0-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения. Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2008 г.

19. **Ahmed, Tarek.** *Hydrocarbon Phase behavior.* London : Gulf publishing Company, 1997.

20. **Edmister W.C.** Applied Hydrocarbon Thermodynamic, Part 4: Compressibility Factors and Equations of State. *Petroleum Refinery.* April 1958 г. C. 173–179.

21. ***Improve*** *Prediction of Enthalpyof Fractions.* **Kesler, M.G. and Lee, B.I.** 1976 г., Hydrocarbon Processing. C. 55–59.

22. **Peid R.C., Prausnitz J.M. and Sherwood, T.K.** *The Properties of Gases and Liquids.* 4th. б.м. : McGraw Hill, 1986.

23. **Stryjek R. and Vera J. H.** PRSV2: a cubic equation of state for accurate vapor—liquid equilibria calculations. *The Canadian Journal of Chemical Engineering.* 1986 г., T. Vol. (64), № 5. C. 820–826.

24. ***PRSV—an*** *improved peng-Robinson equation of state with new mixing rules for strongly nonideal mixtures.* **Stryjek, R. and Vera, J. H.** № 2, 1986 г., Canadian Journal of Chemical Engineering, T. Vol. (64). C. 334–340.

25. ***Comparison*** *of equations of stateincluding the generalized Rydberg EOS.* **Sing, B.P.** 2005 г., Physica B, T. Vol. (369). C. 111–116.

УДК 621.436.001

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА РЕЖИМАХ МАЛЫХ НАГРУЗОК И ХОЛОСТЫХ ХОДОВ

Николай Патрахальцев, профессор Российского университета дружбы народов, (РУДН), д-р техн. наук,
Андрей Савастенко, доцент РУДН, канд. техн. наук,
Татьяна Аношина, магистр техники и технолгий, аспирантка РУДН,
Роман Камышников, магистр техники и технологий аспирант РУДН

Приводятся результаты анализа возможности снижения расхода топлива и токсичности выбросов дизеля типа КамАЗ-7406 (8 ЧН 12/12) на режимах малых нагрузок путём отключения части цилиндров или циклов. Анализ основан на использовании методики оценки показателей дизеля на основе экспериментальных универсальных характеристик по показателям экономичности и токсичности.

Ключевые слова: дизель, малые нагрузки, холостой ход, экономичность, токсичность, отключение цилиндров, регулирование рабочего объёма.

RAISING OF QUALITIES OF ECONOMY AND ECOLOGY OF TRANSPORT'S DIESEL DURING LIGHT LOADS REGIMES

Patrakhaltsev N.N., Savastenko A.A. Anoshina T.S., Kamishnicov R.O.

There presented some results of analysis of opportunities to reduce the fuel consumption and emissions of diesels 8 ЧН 12/12 and 4 Ч 11/12,4 at light-load operation by disconnection of some cylinders or cycles. The analysis is based on use of method of calculation with using of experimental universal characteristics of economy and emissions.

Keywords: diesel, light-load operation, economy, emissions, disconnection of cylinders, variation of displacement.

Для условий эксплуатации транспортных дизелей характерна большая доля работы на режимах малых нагрузок (МН) и холостых ходов. Статистически достоверная информация об эксплуатационных режимах двигателей собрана в испытательных циклах [1]. Так, для 13-режимного испытательного цикла *ECE R*49 для автомобильных дизелей в стендовых условиях коэффициент загрузки ($K_з$), как отношение средней за время эксплуатации загрузки дизеля к его номинальному значению, составляет менее 0,6. Для восьмирежимного цикла *ISO* 8178-4 для дизельных двигателей внедорожных транспортных средств – 0,41. Для 5-режимного цикла дизелей сельскохозяйственных машин – 0,3. Для дизелей городских автобусов $K_з$ может снижаться до 0,22.

Длительная работа на малых нагрузках приводит к ухудшению экономических и экологических характеристик установок с дизелями. Поэтому **актуальной проблемой** является повышение экономичности и снижение токсичности выбросов дизелей, особенно транспортного назначения, на режимах малых нагрузок.

Одно из наиболее распространённых направлений работ по совершенствованию этих показателей – разработка и исследование метода и средств регулирования дизеля изменением его рабочего объёма, реализуемое прежде всего путём отключения части цилиндров или циклов двигателя [2]. Метод такого регулирования применяется, прежде всего, для снижения удельного расхода топлива (g_e) и, соответственно, снижения выбросов парникового газа CO_2. В меньшем объёме – с целью снижения токсичности выбросов. Информация по вопросу возможности достижения конкретного положительного эффекта в части снижения токсичности путём отключения цилиндров весьма ограничена. Для анализа эффекта снижения расхода топлива отключением цилиндров разработаны ряд методов предварительной оценки, с целью ускорения достижения результатов и снижения стоимости исследований и разработок. В части оценки экологического эффекта такие методы практически отсутствуют. Решению этих задач посвящена данная работа.

Существо метода повышения экономичности режимов малых нагрузок дизелей путём отключе-

ния части цилиндров или циклов заключается в том, что деактивация (выключение) части цилиндров приводит к повышению нагрузки в активных (невыключенных) цилиндрах для сохранения исходного уровня нагрузки двигателя. В результате повышаются индикаторный, механический и эффективный КПД, а удельные индикаторные и эффективные расходы топлива активными цилиндрами снижаются.

По показателям выбросов оксидов углерода (*CO*) и углеводородов (*CH*) можно ожидать аналогичного положительного эффекта. С ростом нагрузки до определённого уровня уменьшаются как концентрации (W_{CO}, W_{CH}) этих компонентов в ОГ, так и удельные (т.е. на единицу развиваемой дизелем мощности) выбросы этих компонентов ОГ. С оксидами азота (NO_x) картина неоднозначна: с ростом нагрузки активных цилиндров возрастает концентрация оксидов азота (W_{NOx}) в ОГ. Однако с уменьшением расхода ОГ из-за деактивации части цилиндров удельные выбросы оксидов азота (g_{NOx}) могут как уменьшаться, так и возрастать, что зависит от протекания нагрузочных характеристик конкретного дизеля по этому показателю.

В качестве объекта исследования выбран дизель типа КамАЗ – 7406 (8 ЧН 12/12). Следует отметить, что разработки расчётно-экспериментального метода проводятся при обоснованном ранее допущении, что абсолютные значения механических потерь в дизеле зависят (с погрешностью в пределах 10–12 %) только от частоты вращения вала и не зависят от количества активных цилиндров.

Методика расчётно-экспериментальной оценки экономичности и токсичности основана на использовании универсальных характеристик дизеля с нанесёнными на них параметрическими кривыми постоянных удельных расходов топлива и постоянных концентраций токсичных компонентов в ОГ (g_e, W_{NOx}, W_{CO}, $W_{CH} = f\,(M_e$ (или p_e), n). Причём, характеристики перестраиваются в координаты удельной работы дизеля ($L_{уд}$) – частоты вращения (n) (рис. 1).

Целесообразность пересчёта шкалы M_e или p_e в удельную работу определяется следующим. При работе на режиме МН и применении отключения части цилиндров показатели M_e и N_e дизеля должны оставаться неизменными. Показатель p_e, отражающий нагруженность как полноразмерного дизеля, так и любого из его цилиндров, при отключении части цилиндров по физическому его смыслу не может применяться для отражения загрузки двигателя. В то же время, очевидно, что дизель должен выполнять одну и ту же полную работу ($L_{полн.}$) как при полном числе (i) активных цилиндров, так и при части (z). При этом удельная работа будет изменяться в соответствии с изменением рабочего объёма двигателя от полного (iV_h) до некоторого zV_h.

Основные соотношения для проведения пересчётов приведены ниже для случаев перестроения шкалы M_e или шкалы p_e универсальной характеристики,

$$L_{полн.}=2\pi M_e \text{ Дж}, \quad (1)$$

$$L_{полн.}=500 p_e i V_h \text{ Дж}. \quad (2)$$

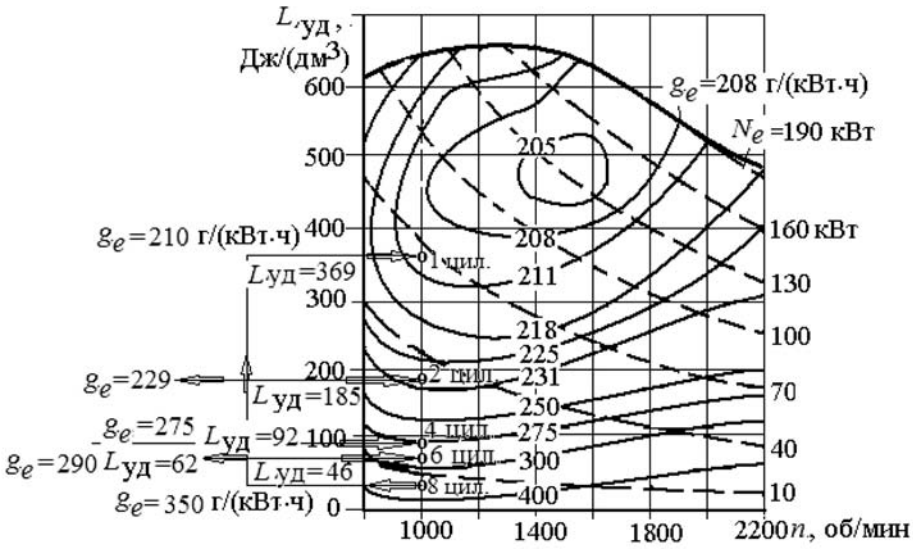


Рис. 1. *Универсальная характеристика дизеля КамАЗ-7406 (8 ЧН 12/12), перестроенная в координаты $L_{уд}$ – n:* ***o*** *– режимы работы дизеля с числом активных цилиндров z = 8 цил., 6 цил., 4 цил., 2 цил. и z = 1 цил. при одинаковой малой нагрузке (окоо 7 % от полной) и при n = 1000 мин$^{-1}$*

Для полноразмерного дизеля

$$L_{уд.}=L_{полн}/(i\cdot V_h)=2\cdot\pi\cdot M_e/(i\cdot V_h)=500\cdot p_e \text{ Дж/(дм}^3\text{)}. \quad (3)$$

Для дизеля с числом активных цилиндров z получаем

$$L_{уд.} = L_{полн.}/(zV_h)= = 2\pi M_e/(zV_h) = 500pei/z \text{ Дж/(дм}^3\text{)}. \quad (4)$$

Пусть полноразмерный (i=z=8) дизель работает с малой нагрузкой M_e =80 Нм при n=1000 мин$^{-1}$. Тогда $L_{полн}$= 2·π·M_e= 2·π·80 = 502 Дж. При z = 8: $L_{уд.8}$ = 502/8·1,356 = ~ 46 Дж/(дм^3); при z = 6: $L_{уд.6}$ = = 502/6·1,356 = ~ 62 Дж/(дм^3); и т.д. (см. рис. 1), при z = 1: $L_{уд.1}$ = 502/1,356 = ~ 369 Дж/(дм^3).

При работе полноразмерного дизеля типа КамАЗ на режиме МН (менее 10 %) удельный эффективный расход топлива составляет ~ 350 г/(кВт·ч) (рис. 1). Уменьшением числа активных цилиндров (вплоть до z=1), а следовательно, увеличением удельной работы, выполняемой активными цилиндрами дизеля, расход топлива может снизиться до ~ 210 г/(кВтч), т.е. на ~ 35–38 %.

Оценку влияния отключения цилиндров на токсичность дизеля проведём с использованием универсальных характеритик по расходу топлива и по концентрациям токсичных компонентов ОГ. Выключение части цилиндров дизеля приводит к росту удельной работы дизеля и, соответственно, росту концентрации оксидов азота (W_{NOx}) в активных цилиндрах (рис. 2).

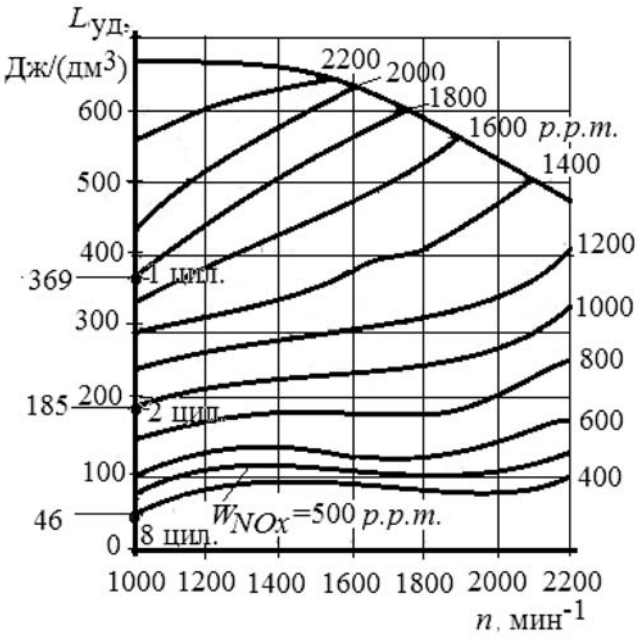


Рис. 2. *Универсальная характеристика дизеля КамАЗ-7406 по концентрациям оксидов азота (W_{NOx}) в ОГ [3]*

Определение удельного выброса NO_x (g_{NOx}) проводится по следующим соотношениям:

$$g_{NOx}=G_{NOx}/N_e \text{ г/(кВт·ч)}, \quad (5)$$

$$G_{NOx} = 0{,}001587\cdot W_{NOx}G_{ОГ} \text{ г/ч [1]}. \quad (6)$$

Здесь $G_{ОГ}$ – расход отработавших газов, как сумма расходов воздуха $G_в$ и топлива Gт:

$$G_{ОГ}= G_в+G_т = zV_h\eta_v\rho_в n10^{-3}30+G_т \text{ кг/ч}. \quad (7)$$

$$G_т = g_eN_e10^{-3} \text{ кг/ч}. \quad (8)$$

При отключении цилиндров происходит снижение часового расхода ОГ из активных цилиндров, что в результате приводит к уменьшению удельных выбросов оксидов азота (g_{NOx}). Здесь и далее расчёты проведены для нагрузок 7, 14, 21 и 28 % от уровня внешней скоростной характеристики и при частотах вращения 1000, 1400, 1800 и 2200 мин$^{-1}$. Часть результатов расчётов показана на рис. 3.

Видно, что при повышении уровня малой нагрузки с 14 до 21 % происходит повышение концентрации оксидов азота W_{NOx} в ОГ активных цилиндров. Часовые выбросы оксидов азота (G_{NOx}) при этом увеличиваются, но удельные (g_{NOx}) уменьшаются, так как возросла развиваемая дизелем мощность.

На рис. 4 показан пример обобщения части расчётов. Показано, что выигрыши в расходе топлива (благодаря отключению цилиндров) возрастают при уменьшении числа активных цилиндров.

На графике видно, что работа на одном цилиндре и достижение максимального экономического эффекта возможны при нагрузке не выше 7 %. Работа на двух цилиндрах возможна до нагрузки меньше 28 %. При работе на двух цилиндрах повышение экономичности может составить около 35 % (при минимальной нагрузке ~ 7 %). При этом уменьшение удельных выбросов NO_x может достигать ~ 50 %. Повышение исходного уровня малой нагрузки приводит к снижению эффективности метода повышения экономичности и экологичности. На графиках нанесены также аппроксимирующие уравнения оценочного изменения удельных выбросов оксидов азота, которые использованы далее для построения трёхпараметровых характеристик.

Выбросы оксидов углерода и углеводородов считаются по следующим соотношениям [1]:

$$G_{CO} = 0{,}000966\cdot W_{CO}G_{ОГ} \text{ г/час}, \quad (9)$$

$$G_{CH} = 0{,}000478\cdot W_{CH}G_{ОГ} \text{ г/час}. \quad (10)$$

А также по уравнениям, аналогичным уравнениям 4, 6, 7.

Универсальные характеристики изменения концентраций CO (рис. 5) и CH в ОГ заимствованы

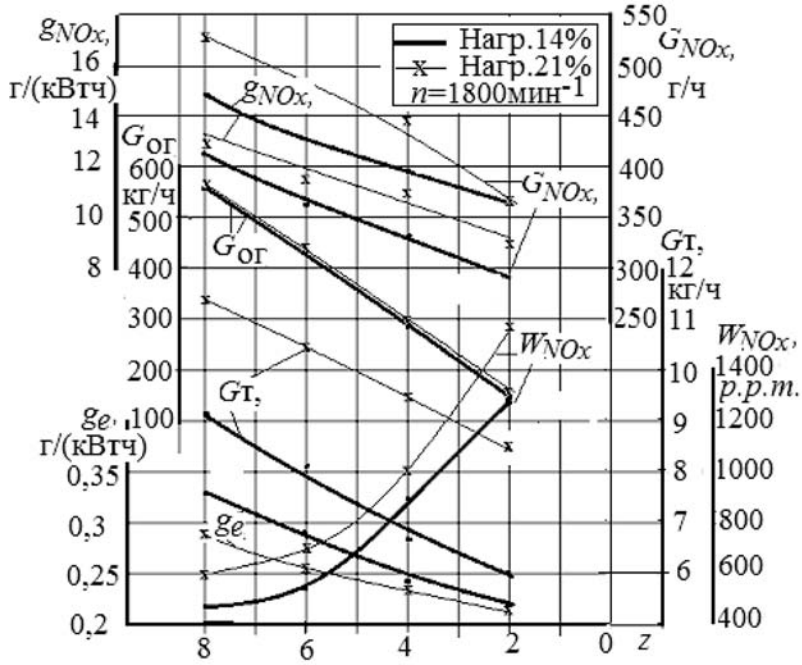


Рис. 3. *Влияние отключения цилиндров на экономность и токсичность по оксидам азота дизеля КамАЗ-7406 при работе на режимах малой нагрузки N_e =27,8 кВт (14 % от ВСХ) и N_e=40 кВт (21 % от ВСХ) при n = 1800 мин$^{-1}$: z – число активных цилиндров; W_{NOx} – концентрация оксидов азота в ОГ работающих (активных) цилиндрах, ppm; g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч); G_m – часовой расход топлива, кг/ч; $G_{ОГ}$ – часовой расход отработавших газов (из активных цилиндров), кг/ч; G_{NOx} – часовой выброс оксидов азота, г/ч; g_{NOx} – удельный выброс оксидов азота, г/(кВт·ч)*

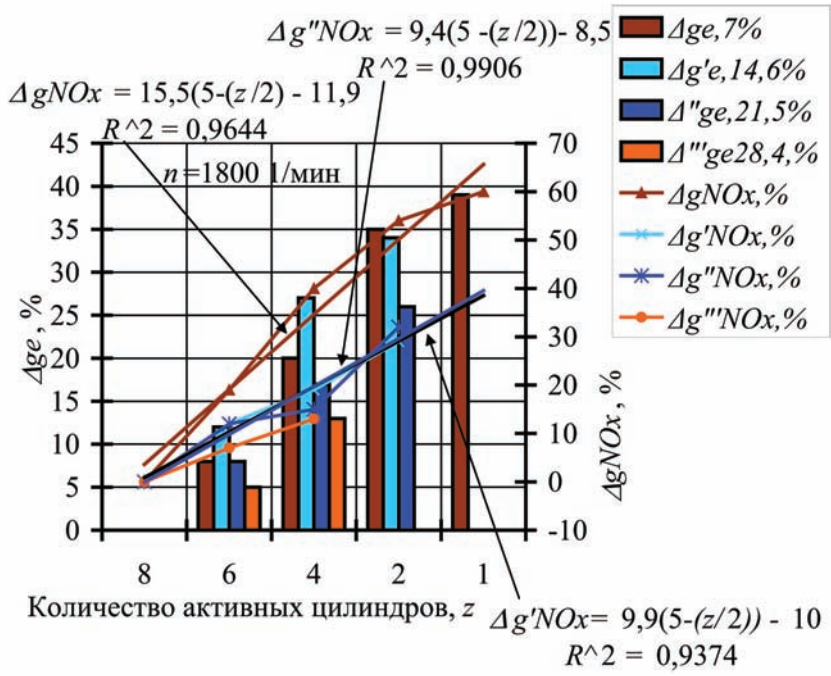


Рис. 4. *Относительные выигрыши в удельных расходах топлива (Δg_e) и в удельных выбросах оксидов азота (Δg_{NOx}) при реализации исходных режимов малых нагрузок (7 %, 14 %, 21 %, 28 % от значений нагрузок на ВСХ) при n=1800 мин$^{-1}$ при разном числе (z) активных цилиндров*

также из работы [3] и адаптированы к условиям исследования путём замены ординаты M_e на удельную работу $L_{уд}$.

В отличие от оксидов азота концентрации оксидов углерода с уменьшением числа активных цилиндров снижаются (рис. 6).

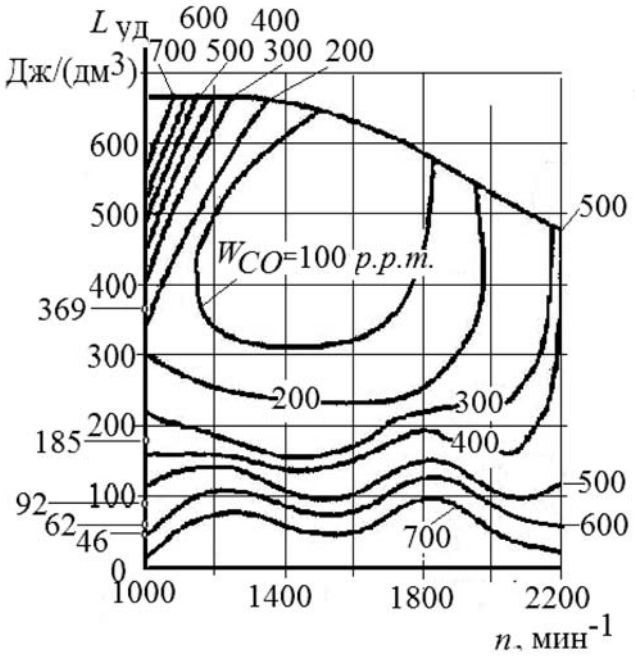


Рис. 5. *Универсальная характеристика дизеля КамАЗ-7406 по концентрации оксидов углерода (W_{CO}) в ОГ [3]*

В результате проведённых расчётов построены характеристики вида рис. 7. Видно, что относительное снижение расхода топлива при n = = 1000 1/мин и нагрузке 7 % составляет около 32 %, то относительое снижение выбросов *CO* достигает 90 %, т.е. эффект роста экологичности по этому показателю в два раза выше, чем по показателю оксидов азота.

Приведённые на рисунке уравнения, аппроксимирующие линейную тенденцию изменения эффективности снижения выбросов *CO* от числа активных цилиндров, использованы далее в построении трёхпараметровых (объёмных) характеристик. На рис. 8 видна тенденция уменьшения эффективности метода отключения цилиндров при возрастании уровня исходной малой нагрузки (от 7 до 28 %).

Трёхкоординатная характеристика (рис. 9) иллюстрирует влияние частоты вращения вала на эффективность снижения выбросов оксидов азота при разных исходных нагрузках и разном числе активных цилиндров.

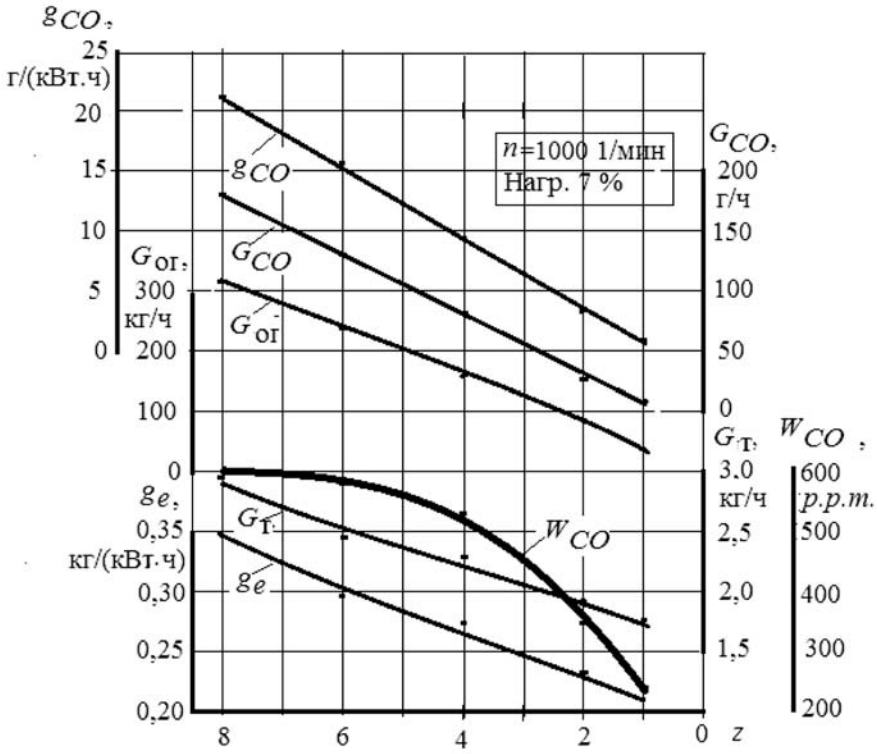


Рис. 6. *Влияние отключения цилиндров на удельную экономичность и удельную токсичность по оксидам углерода дизеля КамАЗ-7406 при работе на режиме малой нагрузки N_e =8,3 кВт (7 % от значения на ВСХ) при n = 1000 мин$^{-1}$: z – число активных цилиндров; W_{CO} – концентрация оксидов углерода в ОГ работающих (активных) цилиндрах, ppm; g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч); G_m – часовой расход топлива, кг/ч; $G_{ОГ}$ – часовой расход отработавших газов (из активных цилиндров), кг/ч; G_{CO} – часовой выброс оксидов углерода, г/ч; g_{CO} – удельный выброс оксидов углерода, г/(кВт·ч)*

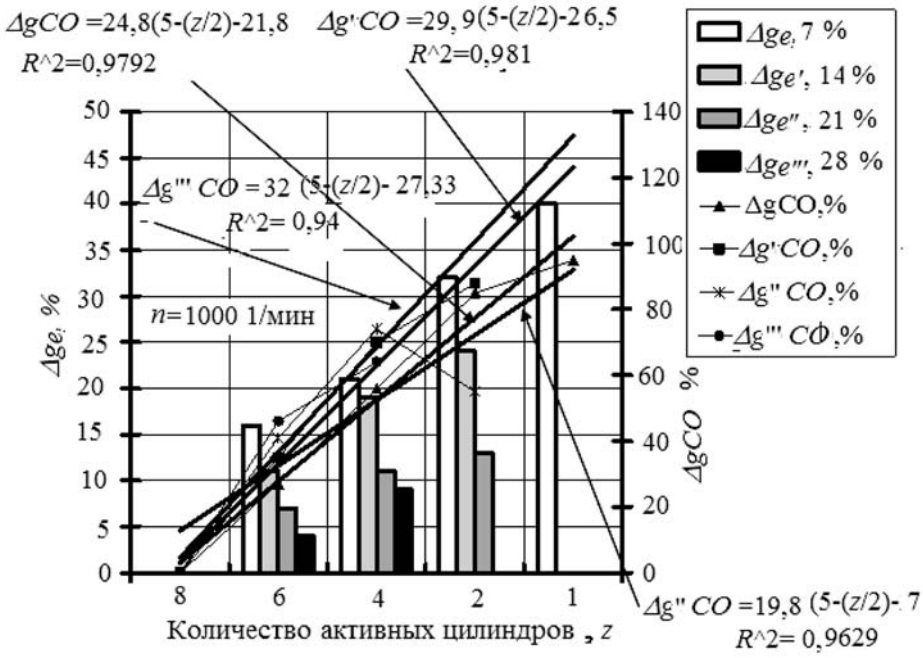


Рис. 7. Относительные выигрыши в удельных расходах топлива (Δg_e) и в удельных выбросах оксидов углерода (Δg_{co}) при реализации исходных режимов малых нагрузок (7%, 14,6%, 21,5%, 28,4% от значений мощности на ВСХ) при n=1000 мин$^{-1}$ при разном числе (z) активных цилиндров

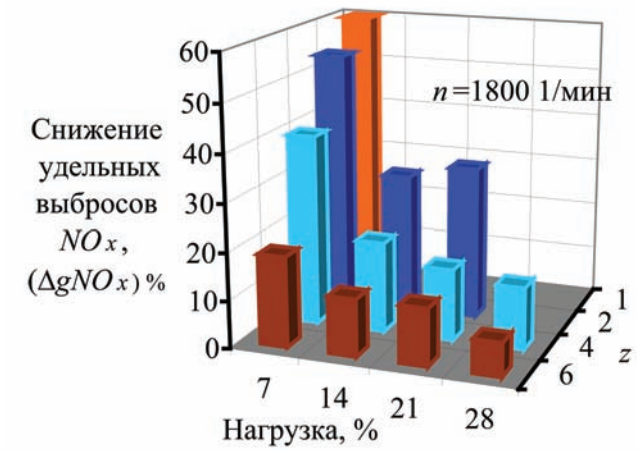


Рис. 8. Относительное уменьшение удельных выбросов NO_x (ΔgNO_x) в зависимости от числа активных цилиндров (z) при разном уровне нагрузки (%) двигателя КамАЗ-7406 при частоте вращения вала 1800 мин$^{-1}$

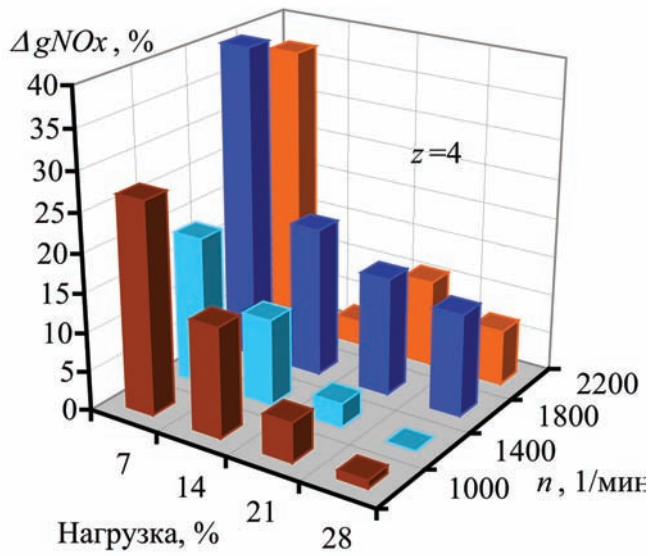


Рис. 9. Относительное уменьшение удельных выбросов NO_x (ΔgNO_x) в зависимости от уровня нагрузки (%) двигателя КамАЗ-7406 и при разных частотах вращения вала при работе дизеля на четырёх активных цилиндрах (z = 4)

Качественно аналогичные результаты получаются и при расчётах выбросов углеводородов.

По результатам работы сделаны следующие выводы.

1. Проведённое исследование подтвердило возможности повышения экономичности и снижения токсичности режимов малых нагрузок дизеля типа КамАЗ-7406 методом изменения рабочего объёма отключением части цилиндров, путём выключения подачи топлива в отключаемые цилиндры.

2. Разработана методика расчётно-экспериментального определения выбросов основных токсичных компонентов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-7406 при применении метода отключения цилиндров. Методика основана на использовании экспериментальных универсальных характеристик дизеля по показателям экономичности и

токсичности, перестроенных в показатели удельной работы дизеля при реализации данного режима.

3. Показано, что методом отключения цилиндров дизеля КамАЗ-7406 (8 ЧН 12/12) на режимах малых нагрузок, ниже 30 %, возможно достигнуть снижения удельных выбросов оксидов азота на 10 – 30 %, а на повышенных частотах вращения – до 50 – 55 %; оксидов углерода – на 20 – 80 %, углеводородов – на 30 – 80 %. При этом снижение расходов топлива может составить 15 – 35 % по сравнению с расходом топлива полноразмерного дизеля на тех же режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кульчикий А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб.пос. для высшей школы. – 2-е изд. Испр. и доп. – М.: Академическй Проект; 2004. – 400 с.

2. **Патрахальцев Н.Н., Савастенко А.А., Кузнецов М.В.** Регулирование дизеля отключением цилиндров или циклов // Вестник РУДН. Серия Машиностроение. – 2003. – № 2. – С. 13–18.

3. **Марков В.А., Девянин С. Н., Мальчук В.И.** Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 360 с.

СПИСОК АВТОРОВ РАЗДЕЛА «НАУКА»

Третьяков Валентин Филиппович, заведующий кафедрой ТНХС и ИЖТ МИТХТ им. М.В. Ломоносова, д-р хим. наук, профессор, e-mail: tretjakov@ips.ac.ru

Талышинский Рашид Мусаевич, д-р хим. наук, ведущий научный сотрудник Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева (РАН ИНХС). тел. (495)955 4271, e-mail: talyshinsky@list.ru

Илолов Ахмадшо Мамадшоевич, канд. хим. наук, науч. сотрудник Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева, e-mail: ilolov@ips.ac.ru

М.С. Потапенко, мастер ЗАО «Осколцемент», магистр, 8 (961) 165-8956

Е.С. Потапенко, аспирант РГУ нефти и газа И.М. Губкина 8 (988) 096-4199

Николаев Александр Игоревич, канд. техн. наук, доцент МИТХТ им. М.В. Ломоносова, тел. служ. 8(499)2464779; e-mail:nicolaevai@mail.ru

Виктор Иванович Ерохов, профессор, Московского государственного машиностроительного университета «МАМИ», д-р техн. наук, Заслуженный деятель науки РФ.

Мамаева Тамара Абсаровна, ассистент кафедры оборудования нефтегазопереработки (ОНГП) РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, e-mail: Galatea0725@gmail.com

Мельников Вячеслав Борисович, д-р хим. наук, профессор кафедры оборудования нефтегазопереработки (ОНГП) РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, e-mail: v.mel@mail.ru

Федорова Елена Борисовна, доцент кафедры оборудования нефтегазопереработки (ОНГП) РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, e-mail: elena.b.fedorova@gmail.com

Патрахальцев Николай Николаевич, профессор Российского университета дружбы народов, (РУДН), д-р техн. наук,

Савастенко Андрей, доцент РУДН, канд. техн. наук,

Аношина Татьяна, магистр техники и технолгий, аспирантка РУДН,

Камышников Роман, магистр техники и технологий аспирант РУДН

Tretyakov Valentin Filippovich, doctor of chemical sciences, professor, head of the TNHS and IZHT Department, the MITHT after named M.V. Lomonosov, e-mail: tretjakov@ips.ac.ru

Talyshinsky Rashid Musaevich, doctor of chemical sciences, leading researcher of the Institute of Petrochemical Synthesis, PAS named of A.V. Topchiev, tel. (495)955 4271, e-mail: talyshinsky@list.ru

Ilolov Ahmadsho Mamadshoevich, Ph.D., researcher of the Institute of Petrochemical Synthesis, RAS named of A.V. Topchiev, e-mail: ilolov@ips.ac.ru

M. S. Potapenko, master ZAO Oskolcement, M.A.,

E. S. Potapenko, postgraduate student, Russian state University of oil and gas I. M. Gubkin

Nikolaev Alexander Igorevich, Moscow State University of Fine Chemical Technologyim M.V. Lomonosov. Tel. 8(499)2464779; e-mail: nicolaevai@mail.ru

V. I. Yerokhov, Professor, Moscow state engineering University «MAMI», Dr technology. Sciences, Honoured scientist of the Russian Federation.

Mamaeva Tamara Absaroka, assistant Professor hardware processing Gubkin Russian state University, e-mail: Galatea0725@gmail.com

Melnikov, Vyacheslav Borisovich, Dr. chem. Sciences, Professor of the Department of processing equipment Gubkin Russian state University of oil and gas named I. M. Gubkin, e-mail: v.mel@mail.ru

Fedorova Elena Borisovna, associate Professor of hardware processing Gubkin Russian state University of oil and gas named I. M. Gubkin, e-mail: elena.b.fedorova@gmail.com

Nicholas Patrakhaltsev, Professor of Russian University of peoples ' friendship (RUDN), Dr technology. Sciences,

Andrew Savastenko, associate Professor of mine, Kida. technology. Sciences,

Tatiana Anoshina, master of engineering and technology, PhD student of mine,

Roman Kamyshnikov, master of engineering and technology student of the RUDN

ИНФРАСТРУКТУРА – ФУНДАМЕНТ РАЗВИТИЯ ГАЗОМОТОРНОЙ ОТРАСЛИ

В 2013 г. в России стартовала масштабная государственная программа газификации транспорта. Началось формирование новой отрасли отечественной экономики – рынка газомоторного топлива. По решению ОАО «Газпром» комплексное развитие отрасли было поручено специализированной компании. Генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаил Владимирович Лихачев рассказал о планах компании по расширению газозаправочной сети и перспективах «газового» топлива на российском рынке.

– Ключевая причина повышения внимания к природному газу в качестве моторного топлива – его высокая энергоэффективность. Природный газ – самый чистый углеводородный ресурс, требующий минимальных затрат для переработки в моторное топливо. Высокая экологичность и экономичность делают его бесспорным лидером среди альтернативных видов топлива. Самым красноречивым аргументом в пользу природного газа в моторе является доказанный экономический эффект. Транспортный комплекс – это связующее звено всех сегментов экономики. Топливные расходы в структуре затрат любого транспортного предприятия всегда стоят на первом месте. Природный газ способен сократить их в 2–3 раза. В масштабах экономики регионов России это дает ощутимый эффект. Рост энергоэффективности и сокращение расходов на топливо позволяют производить перераспределение бюджетных средств в пользу других приоритетных направлений.

Первый шаг на пути решения проблемы энергоэффективности сделан. Президент России Владимир Путин в мае 2013 г. поставил задачу по переводу общественного и коммунального транспорта страны на газомоторное топливо. Правительство России издало соответствующее распоряжение. К 2020 г. в городах с населением более миллиона человек на природный газ должно быть переведено 50 % имеющихся автопарков общественного транспорта, дорожно-коммунальной и специальной техники. В городах с населением до миллиона человек – до 30 %.

Крупнейшая российская энергетическая компания «Газпром» включилась в работу по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива. Создана специализированная компания – «Газпром газомоторное топливо». Задача компании – комплексное развитие новой для российской экономики отрасли и обеспечение расширения газозаправочной инфраструктуры. Инфраструктура – это фундамент развития отрасли. Поэтому сегодня все усилия компании направлены на ускоренный рост газозаправочной сети.

Во-первых, ведется работа по обновлению законодательной базы: актуализируются различные нормативные акты, санитарные нормы и правила, а также требования пожарной безопасности. Ряд инициатив нашей компании уже был поддержан на федеральном уровне. Все они направлены на устранение избыточных административных барьеров и совершенствование действующего законодательства, приведение его в соответствие с современными реалиями отрасли.

С 8 июня 2014 г. действует новая редакция СанПиН, которая предусматривает снижение класса опасности и сокращение санитарно-защитной зоны для вновь строящихся автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) в зависимости от их мощности, а для станций заправки сжиженным природным газом – от объемов хранения. Это позволит эффективно подбирать земельные участки для строительства АГНКС и криоАЗС и ускорит строительство и ввод в эксплуатацию объектов газомоторной инфраструктуры.

Второй шаг – это реконструкция действующих газозаправочных станций и масштабное строительство новых. Сегодня на территории России действуют 250 АГНКС, 205 из них принадлежат Группе «Газпром». Наша задача – до 2017 г. консолидировать все газомоторные активы Группы и провести реконструкцию части из них. Безусловно, действующих станций будет недостаточно для удовлетворения растущего спроса на новое топливо. Тем более многие АГНКС расположены в удалении от потенциальных потребителей. Чтобы в полном объеме обеспечить потребителей газомоторной инфраструктурой, необходимо построить сеть более чем из 2000 АГНКС. Третье направление работы по развитию газомоторной инфраструктуры – это сотрудничество с крупнейшими топливными операторами. Жидкотопливные АЗС «Газпромнефть», «Газпром газэнергосеть», «ЛУКОЙЛ», «Татнефть» будут оборудованы блоками заправки КПГ. В ближайшей перспективе мы планируем установить более 90 таких блоков на заправочных станциях наших партнеров и тем самым

создать газомоторные «коридоры» Санкт-Петербург – Москва, Хельсинки – Санкт-Петербург, Магнитогорск – Набережные Челны.

Кроме того, мы разработали специальные финансовые инструменты и схемы сотрудничества для частных инвесторов в рамках партнерства по развитию сети. Первый механизм сотрудничества – франчайзинг. Компания предоставляет рекламную поддержку бренда, оказывает содействие в подключении заправки к системе газоснабжения, а также проводит все сопряженные согласования с газораспределительными, газотранспортными и газоснабжающими организациями. Обязательное условие франчайзинга – заключение договора на поставку газа с дочерней компанией «Газпрома» для обеспечения потребителей качественным топливом. Данная схема партнерства в первую очередь направлена на предпринимателей, имеющих опыт в области строительства традиционных жидкотопливных АЗС.

Второй вариант сотрудничества – это финансовое инвестирование. Компания определяет местоположение и технические требования к объекту, на основании договора инвестор строит АГНКС «под ключ». После завершения всех работ и проведения экспертизы компания производит выкуп заправочной станции по фиксированной стоимости. Такой механизм взаимодействия с частным бизнесом эффективен с точки зрения быстрого развития сети, а для инвестора – это возможность вернуть вложения за короткий период.

Однако существует ряд обстоятельств, которые могут стать проблемой для притока инвестиций в газомоторную инфраструктуру. Земельный участок, на котором инвестор собирается построить АГНКС, должен соответствовать определенным критериям. Ключевые из них – расположение в зоне высокого транспортного трафика и возможность подключения к системе газоснабжения. Большинство региональных властей занимают пассивную позицию по выделению земли под строительство станций, а подобрать необходимый участок в рыночных условиях зачастую невозможно, либо его стоимость делает строительство объекта нецелесообразным. В результате компания, готовая инвестировать в строительство АГНКС, не может подобрать соответствующую площадку для ее размещения. Поэтому существует острая необходимость по внесению ряда изменений в документы территориального планирования и градостроительного регулирования, а также признания АГНКС социально значимыми объектами.

Вторым фактором, который может негативно сказаться на развитии газозаправочной сети, является действующая стоимость реализуемого топлива. Определяющим критерием для инвестора являются гарантии возвратности вложенных средств. Существующая цена на КПГ не удовлетворяет интересам инвесторов. Она регламентируется устаревшим законодательством и ограничена на уровне 50 % от стоимости бензина марки А-76. Сегодня выдвигается инициатива по привязке цены на КПГ к 35 % от стоимости дизельного топлива. Но тогда газомоторный рынок рискует стать заложником следующей ситуации: есть топливо, которое обладает привлекательной ценой для потребителя, но нет инфраструктуры, где им можно заправляться, потому что газовые заправки – это неэффективное вложение средств. Поэтому сегодня активно обсуждается вопрос о необходимости внедрения рыночных механизмов ценообразования на КПГ.

Наша компания провела анализ 41 субъекта России на предмет перспективы развития газозаправочных мощностей. Соглашения о намерениях подписаны с 233 автотранспортными предприятиями – потенциальными потребителями КПГ. Оценка показала, что наибольшим потенциалом обладают 18 регионов, в том числе Москва и Московская обл., Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Краснодарский край, Свердловская, Оренбургская, Нижегородская и Ленинградская области. До конца 2014 г. список приоритетных регионов будет расширен – в настоящее время ведется анализ рынка еще в 44 регионах.

За последний год количество транспорта на природном газе в России возросло с 86 до 105 тыс. единиц. Увеличилось и потребление топлива. Прирост объема реализации с 2008 по 2013 г. составил 85 млн м^3 газа. Согласно прогнозам к 2020 г. количество автотранспорта на компримированном природном газе увеличится до 2 млн ед., а потребление КПГ вырастет до 10,4 млрд м^3.

Развитие применения альтернативного моторного топлива – общемировой тренд. Российский рынок в целом готов к переходу на газ: есть стартовая газозаправочная инфраструктура, необходимый уровень развития технологий. Масштабные планы по внедрению нового вида топлива на транспорте подтверждаются позицией государства. Компанией «Газпром газомоторное топливо» закладывается прочная основа для реализации масштабного инфраструктурного проекта. Россия, обладающая самыми значительными запасами природного газа, в скором времени может войти в число мировых лидеров газомоторного направления.

«Газовая промышленность», 2014 г.

АНДРЕЙ БОЧАРОВ: «ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ СТАНЕТ ПИЛОТНОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ ПО РАЗВИТИЮ РЫНКА ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА»

Мария Маслова

Планы на 2015 г. по реализации в Волгоградском регионе программы развития газомоторного топлива обсуждались на встрече в Москве Андрея Бочарова и председателя Совета директоров ОАО «Газпром» Виктора Зубкова. Кроме того, губернатор провел переговоры и с генеральным директором ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаилом Лихачевым.

«Соглашение о взаимодействии в этой сфере уже есть, и Волгоградский регион готов стать пилотной территорией для реализации такой программы», – отметил Андрей Бочаров.

По его словам, сейчас специалистами разрабатываются механизмы перевода автопарка коммунальных, социальных, а в перспективе, и сельскохозяйственных предприятий на газомоторное топливо. «Финансовое участие в этом проекте через свое профильное предприятие будет принимать «Газпром». Кроме того, в федеральном бюджете также заложены средства на эти цели», - пояснил губернатор.

В настоящее время определяются потребности региона на 2015–2017 гг. в новых газомоторных автобусах и спецтехнике. Одновременно прорабатываются и условия для использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива для сферы пассажирских автоперевозок, жилищно-коммунального хозяйства и АПК. На переговорах в Москве было подтверждено, что «Газпром» готов инвестировать средства в эти проекты. «Волгоградская область, как крупный сельскохозяйственный регион и один из центров отечественного машиностроения, обладает большим потенциалом. Реализация программы газомоторного топлива будет способствовать повышению конкурентоспособности местных предприятий, внедрению новых стандартов и технологий, а также улучшению экологической обстановки», - подчеркнул Андрей Бочаров.

Отметим, что на встрече с председателем Совета директоров ОАО «Газпром» Виктором Зубковым речь шла и о других вопросах, связанных с развитием Волгоградской области. В частности, подробно обсуждались меры по наведению порядка в ЖКХ и приоритетные направления в агропромышленном комплексе. Андрей Бочаров сообщил, что сейчас совместно с правоохранительными структурами идет большая работа по декриминализации коммунальной сферы. «Самые серьезные проблемы в городе Волгограде, но от своих планов мы не отступим: сфера городского хозяйства должна работать законно и прозрачно», – подчеркнул Андрей Бочаров.

Что касается планов по развитию АПК в регионе, то Виктору Зубкову губернатор сообщил о почти двукратном увеличении объемов поддержки отрасли. «Бюджет на 2015 г. утвержден, и сегодня можно говорить о том, что ассигнования на комплексное развитие сельских территорий вырастут до 2,9 млрд руб. Кроме того, Волгоградская область активно работает над привлечением частных инвестиций в сферу переработки и намерена расширять свое участие в федеральных программах», – отметил Андрей Бочаров.

КОЛИЧЕСТВО ЗАЯВОК ПО ПРОГРАММЕ СУБСИДИРОВАНИЯ ЗАКУПОК ГАЗОМОТОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕВЫСИЛО ОБЪЕМ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Подписано распоряжение Правительства РФ об утверждении распределения субсидий, предоставляемых в 2014 году из федерального бюджета регионам на закупку автобусов и техники ЖКХ на газомоторном топливе. Минпромторг России планирует в кратчайшие сроки заключить с субъектами Российской Федерации соответствующие соглашения и осуществить перевод денежных средств в объеме 3 млрд 770 млн 700 тыс. руб.

Объем поступивших в Минпромторг заявок на закупку газомоторной техники значительно превысил предусмотренное постановлением финансирование и составил около 6,5 млрд рублей. Заявки были сокращены и распределены между регионами пропорционально в соответствии с предусмотренной в правилах для такого случая методикой.

Субсидирование регионам закупки автобусов и техники ЖКХ на газомоторном топливе нацелено на создание дополнительного спроса на газомоторные автобусы. Также постановление позволит решить задачи по обновлению парка общественного транспорта и транспорта дорожно-коммунальных служб, улучшению экологической обстановки в регионах, расширению использования природного газа в качестве моторного топлива, стимулированию развития автопромышленности.

Russian Automotive Market Research

РЫНОК ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПОЛУЧИТ НОВЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ

В Санкт-Петербурге генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаил Лихачев и генеральный директор ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» Владимир Майоров подписали Дорожную карту по развитию рынка газомоторного топлива Республики Беларусь.

Данный проект направлен на развитие производственно-сбытовой инфраструктуры компримированного и сжиженного природного газа, комплексное развитие рынка газомоторного топлива на территории Республики Беларусь, а также создание международных коридоров для транспорта, использующего природный газ в качестве моторного топлива.

План мероприятий Дорожной карты также предусматривает активное взаимодействие с органами власти по введению стимулирующих механизмов приобретения техники, работающей на природном газе и сотрудничество с заводами-изготовителями автотранспорта по развитию производства газобаллонной техники. Таким образом, строительство объектов газозаправочной инфраструктуры будет синхронизировано с программами приобретения газомоторного транспорта.

— Реализация инфраструктурных проектов на территории Республики Беларусь является частью стратегии развития бизнеса компании на зарубежных рынках, — сказал Михаил Лихачев.

— Расширение использования природного газа на транспорте будет способствовать росту энергетической и экологической безопасности республики, а также внесет значительный вклад в повышение конкурентоспособности экономики за счет снижения топливных издержек, — отметил Владимир Майоров.

Минск, Республика Беларусь

СПРАВКА

ООО «Газпром газомоторное топливо» — единый оператор от ОАО «Газпром» по развитию рынка газомоторного топлива. Компания создана в декабре 2012 года. Целью компании является расширение использования природного газа в качестве моторного топлива, который, по сравнению с традиционными видами топлива, является более экологичным, экономичным и безопасным.

ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» является 100-процентным дочерним предприятием ОАО «Газпром». Компания обеспечивает бесперебойное газоснабжение потребителей Республики Беларусь. По магистральным трубопроводам, проходящим по территории республики, осуществляются транзитные поставки российского природного газа в Калининградскую область России, Литву, Украину, Польшу. В ведении компании находится 27 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).

СОВЕТ ДИРЕКТОРОВ РАССМОТРЕЛ ВОПРОС О ХОДЕ РАБОТ ПО РАСШИРЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Совет директоров ОАО «Газпром» принял к сведению информацию о проводимой в компании работе по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива.

Отмечено, что данное направление деятельности является для «Газпрома» стратегическим.

На внутреннем рынке эта работа развернута по двум основным направлениям:

- наращивание газомоторной инфраструктуры (прежде всего — строительство новых автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС);
- содействие увеличению количества газомоторной техники.

В 2014 г. «Газпром» направляет на проекты создания новых АГНКС около 1,5 млрд руб. На эти средства, в частности, ведутся проектно-изыскательские работы (ПИР) и производится закупка оборудования для строительства 41 станции. Кроме того, в «Газпроме» разработан и реализуется график реконструкции действующих АГНКС до 2020 г.

Ведется работа по размещению модулей компримированного природного газа (КПГ) на действующих автозаправочных станциях ОАО «Газпром нефть», ОАО «Газпром газэнергосеть», ОАО «Лукойл», ОАО «Татнефть».

В рамках подписанного с ОАО «Российские железные дороги» меморандума определены полигоны для перевода локомотивов на сжиженный природный газ (СПГ), а также места строительства объектов по производству СПГ и заправки железнодорожной техники.

К концу 2017 года «Газпром» планирует завершить реализацию пилотных проектов строительства АГНКС в 10 приоритетных с точки зрения расширения рынка газомоторного топлива регионах: Москве, Санкт-Петербурге, Московской, Ленинградской, Ростовской, Свердловской областях, Краснодарском и Ставропольском краях, Республиках Татарстан и Башкортостан. Регионы были выбраны в 2013 году в результате анализа спроса на газомоторное топливо в 41 субъекте РФ.

«Газпром» ведет большую работу, направленную на увеличение количества автомобильной техники, работающей на природном газе. Соглашения о расширении использования природного газа подписаны с правительствами 32 субъектов РФ.

Документы предусматривают обязательства руководства регионов обеспечить создание (расширение) парка газомоторной техники, синхронизированное со строительством новых АГНКС.

С 250 автотранспортными предприятиями, распложенными в перспективных районах расширения сети АГНКС, заключены Соглашения о намерениях, которые позволят обеспечить загрузку новых станций на уровне не менее 30 % от их мощностей.

В целях расширения линейки газобаллонных автомобилей подписаны Соглашения о взаимодействии с 24 российскими и иностранными производителями и поставщиками газомоторных транспортных средств.

«Газпром» активно переводит на газ собственный автотранспорт. Принята соответствующая программа на 2014–2017 гг. Если сегодня 14,5 % транспорта Группы работает на природном газе, то к началу 2018 г. этот показатель планируется увеличить до 50 %.

В ходе заседания было также отмечено, что компания продолжает работу по оценке вариантов развития сегмента газомоторного топлива за рубежом.

Правлению компании поручено продолжить работу по расширению использования газа в качестве моторного топлива в России и за рубежом.

СПРАВКА

Отечественный парк газобаллонных автомобилей сегодня насчитывает порядка 105 тыс. единиц. Ожидается, что в 2014 году в России будет продано более 3 тыс. газобаллонных автомобилей, что в шесть раз больше, чем в 2012 году.

Единый оператор по развитию рынка газомоторного топлива в России — ООО «Газпром газомоторное топливо». Компания создана «Газпромом» в декабре 2012 года.

Управление информации ОАО «Газпром»

21-Я МОСКОВСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «АВТОКОМПЛЕКС-2014» (АВТОЗАПРАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС. АВТОТЕХСЕРВИС. ГАРАЖ И ПАРКИНГ)

Традиционная 21-я Московская международная выставки «Автокомплекс-2014» завершила работу. Организатор выставки ООО «АЗС-ЭКСПО» при поддержке Правительства Москвы и содействии ЗАО «Экспоцентр». В подготовке и проведении выставки большую помощь оказали Департамент топливно-энергетического комплекса Москвы, Российский Топливный Союз, Государственная компания «Автодор».

В выставке приняли участие 120 фирм из 10 стран. Самые известные производители и поставщики из России, Украины. Белоруссии, Германии, США, Китая, Великобритании, Италии, Чехии, Латвии представили свои новейшие разработки.

Уровень технического и технологического оснащения всех сегментов послепродажного обслуживания автовладельцев находится в состоянии динамичного развития, и это нашло наглядное отражение в экспозиции выставки.

Компания Gilbarco Veeder-Root, занимающая ведущие позиции на рынке СНГ по производству оборудования для АЗС и нефтебаз, представила новинки оборудования для учета нефтепродуктов в резервуарах. Компания Scheidt & Bachmann постоянно совершенствует системы управления сетями АЗС, включая уличные платежные терминалы. Как всегда интересным был стенд Wayne Fuelling Systems . СП «Татсуно РУС» предлагает новый модельный ряд топливо- и газораздаточных колонок, а также большой выбор интегрированных в оборудование терминалов самообслуживания. Компания Tokheim представила ТРК PROFLEET, специально разработанную для ведомственных АЗС.

Значительно возросло количество фирм-участников из КНР. Компании Bejing Sanki Petroleum Technology Co., Ltd. и Wenzhou Real-Tech Petroleum Equipment Co., Ltd. постоянно работают над совершенствованием своего оборудования, заслуживая авторитет надежных поставщиков. Коллективным организатором нескольких китайских фирм выступила Guanchou BOYI Exhibition Go.

ООО НПК «Шельф» продемонстрировал интересные комбинированные колонки «бензин + пропан». Много нового для АЗС и нефтебаз представили: ОАО «Промприбор», ООО «Топаз-сервис» и ЗАО «Пензаспецавтомаш». Широкий комплекс услуг предлагает Филиал «Белоруснефть – Нефтехимпроект».

Как всегда высока конкуренция в сфере IT технологий. Системы управления и безналичных расчетов охватывают все большие сегменты. Компания «АйТи. Смарт системы» создает современные корпоративные управленческие системы, ЗАО «Альбатрос» предлагает систему ТанкМенеджер для объемно-массового учета нефтепродуктов. Компания «Сервио» представила новейшие разработки в области автоматизации технологических и бизнес-процессов для современных АЗК. Надежными деловыми партнерами зарекомендовали себя: ООО «Синтез», ЗАО «ПК-Электроникс», ООО «Винкор Никсдорф», «ООО «АЗС-Доза-Сервис», компания «Е100 Восток», ООО «Метролог», ООО «Ситинет-ЭКСПРЕСС», ООО «АВТОМАТИКА плюс», ООО «Новинтех», НПП «Сенсор». ЗАО «ТОПКОН» представило систему автоматизированной бесконтактной заправки и контроля расхода топлива для транспортных компаний. ГК «Мелстон» оказывает полный комплекс инжиниринговых услуг. Оригинальные дизайнерские решения отличают стиль работы компании VDS, ООО ПК «Стас». Широкую гамму оборудования самых известных производителей предлагают ТД «Все для АЗС», ООО «Нева-Сервис», ООО «ЛПГруп», ТД ООО «Олеум Сервис».

Тематика «Газ как моторное топливо» была представлена компаниями: FAS Flussiggas-Anlagen GmbH (FAS), ОАО «Промприбор», ООО «Еврогалс», ООО «Техно-проект», ООО «Топаз-сервис».

Самые современные автоцистерны, полуприцепы-цистерны для светлых и темных нефтепро-

дуктов, газовых заправок, химии, сыпучих материалов продемонстрировали компании: ТК ООО «КОММАШ-ГРАЗ», фирма «Джи Ти Севен», ООО «Магистраль», ООО «Трейлер авто», ООО «Техно трейд». ЗАО «МеталСервис» предлагает новые плавучие АЗС (АЗС на воде).

Несмотря на общее сокращение государственных расходов, несомненно, приоритетным остается задача развития дорожной сети как за счет бюджетных средств различных уровней, так и более активного привлечения частных вложений в развитие дорожного сервиса. Предметом особого внимания становится развитие сетей многофункциональных зон дорожного сервиса (МФЗ). Представляется, что это направление важно как для развития сетей автозаправочных комплексов, так и развития автотехсервиса, парковок и моечных постов. Этой актуальной теме был посвящен круглый стол **«Опыт и перспективы развития многофункциональных зон дорожного сервиса»,** организованный совместно с ГК «Автодор», Российским Топливным Союзом и официальным партнером СП «Татсуно РУС». Мероприятие вызвало большой интерес специалистов.

Расширение сферы сопутствующих услуг на АЗС и других объектах автосервиса весьма актуально в данное время. Очень интересные оборудование и технологии по организации систем быстрого питания, с учетом специфики автозаправочных комплексов, демонстрировали: ООО «Эндерс», латвийская фирма Virtrum Group, ООО «Смартен».

Актуальными остаются вопросы разгрузки наших улиц и дворов от транспортных средств, развитие сервисных услуг, повышение их качества.

Оборудование для СТО и паркингов также было представлено на выставке. Компания «ИНЖТЕХсервис» готова полностью оснастить на самом современном уровне, как небольшой шиномонтажный пост, так и крупный автоцентр. ООО «Парковочные решения АйЭсДи» имеет богатый опыт автоматизации паркингов на территориях аэропортов, отелей, перехватывающих парковок, торгово-развлекательных и спортивных центров. Сфера деятельности ООО «КомплексПаркинг» охватывает весь диапазон, связанный с организацией, обустройством, оснащением и улучшением парковок.

Интересный разговор состоялся на круглом столе**: «Перспективы развития паркингов и гаражей в крупных городах»**.

Информационную поддержку выставке оказывают более 20 отраслевых изданий и порталов. Особо следует отметить большую работу наших информационных партнеров: крупнейший европейский портал по тематике автозаправочного оборудования – PetrolPlaza, на которой размещен двуязычный каталог нашей выставки и журнал «Современная АЗС».

В целом выставка прошла успешно, было представлено много новинок, большинство стендов обновили и обогатили дизайн, что придало экспозиции выставки особую привлекательность. Шесть тысяч человек посетили выставку. Это специалисты, владельцы АЗС и других объектов автосервиса, инвесторы, представители нефтяных компаний, муниципальных и других властных структур.

Большинство экспонентов выразили готовность участвовать в следующей выставке «**Автокомплекс-2015», которая состоится 28–30 октября 2015 г. так же в павильоне № 7 и на открытых площадках.**

В непростых экономических условиях только нацеленность на высокие стандарты развития отрасли поможет выходу на новые качественные и количественные рубежи. Выставка предоставляет прекрасные маркетинговые возможности для продвижения оборудования и услуг, повышения имиджа фирмы.

Экспонентами будущей выставки уже стали: СП «Татсуно РУС», ОАО «Промприбор», Торговая Компания «КОММАШ–ГРАЗ», Franklin Fueling Systems GmbH (Германия), Gilbarco Veeder-Root (Великобритания), ООО «НПК «Шельф», ООО «Торговый дом «Все для АЗС», фирма СТАС, ООО «Автоматика плюс», ООО «НПП «ИИТ» и др.

Мы готовы к сотрудничеству со всеми заинтересованными компаниями, организациями и профессиональными союзами, которые хотят внести свежую струю в подготовку и проведение выставки.

ПРИГЛАШАЕМ ВАС К УЧАСТИЮ В ВЫСТАВКЕ «АВТОКОМПЛЕКС-2015» !

По всем вопросам просим обращаться:

E-mail: acs@autocomplex.net.

Тел. +7 (495) 644-08-89.

Тел/Факс. +7 (495) 644-08-90.

Более подробная информация: http://www.autocomplex.net

ВОДОРОДНУЮ «ТОЙОТУ» ОТПРАВИЛИ НА РАЛЛИ

Компания Toyota подготовила для участия в одном из этапов японского чемпионата по ралли – заезда в Синсиро, который пройдет по асфальту и гравийным дорогам – водородный седан FCV. Машина поедет в качестве «нулевого» экипажа – она проверит готовность трассы к заездам до выхода на старт боевых экипажей.

Серийная версия FCV поступит в продажу в Японии к апрелю 2015 г., в Европе и США – летом того же года. Седан будет именоваться Mirai.

Модель укомплектуют 136-сильным агрегатом, работающим на топливных ячейках. Двигаться машина будет за счет электромотора, энергия для которого получается из реакции между кислородом и водородом. Отходом от деятельности такой силовой установки является вода.

Motor.ru
Фото: Toyota

В компании отметили, что машина прошла специальную подготовку для участия в ралли. При этом подробной информации об изменениях автомобиля японцы не предоставили. От прототипа FCV его раллийная версия отличается лишь визуально: наклейками на кузове, измененными воздухозаборниками переднего бампера, иными колесами и другими брызговиками.

Напомним также, что Правительство Японии приняло решение до 2020 г. оснастить все машины правительственного и муниципального автопарка водородными двигателями. Об этом сообщает ИТАР-ТАСС со ссылкой на генсека кабинета министров страны Ёсихидэ Суга.

Программа включена в долгосрочную правительственную стратегию роста экономики. «Это важно не только для энергосбережения и защиты окружающей среды, но и для осуществления принятой нами стратегии роста», – отметил господин Суга. Он также подчеркнул, что правительство страны «предоставит соответствующую финансовую поддержку в виде грантов», что должно побудить местные автомобильные компании вести работу в этом направлении.

Ранее крупнейший в мире производитель автомобилей – японская корпорация Toyota – заявила, что намерена уже в начале следующего года начать коммерческий выпуск первых в мире легковых машин на так называемых топливных элементах, с использованием энергии водорода и кислорода. Единственным продуктом «выхлопа» такого автомобиля является водяной пар, образующийся при соединении водорода с атмосферным кислородом. Прототип под названием FCV был представлен на Токийском автосалоне в прошлом году, инженеры Toyota утверждали, что машину можно «заправить» всего за три минуты, и с полным баком она сможет преодолеть расстояние свыше 500 км.

Автоновости

ИНЖЕНЕРЫ HYUNDAI ВСТРОИЛИ ЭЛЕКТРОМОТОР В КОРОБКУ ПЕРЕДАЧ

Компания Hyundai представила на ежегодной конференции по силовым агрегатам, прошедшей в корейском Намьянге, новую шестиступенчатую автоматическую коробку передач для гибридных автомобилей. Одной из первых моделей марки, которая получит эту трансмиссию, станет экологичная версия «Сонаты».

В новую коробку передач интергрирован электромотор. Это, по словам инженеров, позволило свести к минимуму потерю энергии и добиться лучшей топливной экономичности. В блоке трансмиссии разместился как тяговый электрический двигатель, так и масляный электронасос, сменивший прежний механический агрегат.

Также появились облегченный гаситель крутильных колебаний и новое сцепление. От гидротрансформатора разработчикам Hyundai удалось вообще отказаться.

В результате, новая коробка передач за счет меньшего числа используемых деталей легче обычной трансмиссии и весит 130 килограммов.

Hyundai Sonata

Помимо этого, в Намьянге южно-корейский автопроизводитель показал новый трехцилиндровый бензиновый двигатель объемом один литр и семиступенчатый преселектив с двумя сцеплениями, которые дебютировали на Парижском автосалоне. Такой 120-сильный мотор появится на серийных машинах марки в 2015 году.

Lenta.ru
Фото Hyundai

В ОМСКЕ ПОЯВИЛАСЬ МАШИНА, ЕЗДЯЩАЯ НА ШИШКАХ И НАВОЗЕ

Омич изобрел двигатель, который работает на любом твердом топливе. В ход идут дрова, солома, опилки, еловые шишки и даже навоз.

В условиях растущих цен на бензин омские кулибины придумали двигатель, который работает на любом твердом топливе. Объявление о продаже автомобиля марки «Москвич-2141» с таким уникальным двигателем появилось в конце ноября на сайте «Авито». Первоначальная стоимость – 120 тыс. рублей.

– Продам авто на дровах. Экологически чистый, экономически выгодный. Одной закладки хватает на 120 км, макс. скорость 90 км/ч. Работает на дровах, соломе, опилках, сухом навозе, древесном угле, еловых шишках, хвое, листве и многом другом. Заводится в любой мороз, – значится в объявлении.

Уникальная машина долго своего хозяина не ждала, ее уже продали. Но, как рассказал автор объявления, Дмитрий, скоро появится второй экземпляр.

– Уникального ничего здесь нет! Бензин дорожает, зарплаты нет. Это придумал мой товарищ, Кирилл, который искал альтернативное топливо. Сначала додумались ездить на природном газе, а он нашел вариант еще дешевле – изобрел автомобиль на дровах, ведь леса в Сибири много. Я увидел, сказал: давай в Интернет выложим. Это все быстро придумали, потом испытали. Сейчас на подходе вторая установка, которая будет цепляться прицепом к любому автомобилю. У меня самого «Тойота», прицепим и поедем, – рассказал Дмитрий.

Он добавил, что «Москвич» у него купил мужчина, которому отец когда-то рассказывал, как машины в войну передвигались именно за счет таких двигателей. «Он приехал, прокатился, говорит, все забираю. Продали, конечно, не за 120 тысяч, дешевле», – рассказал Дмитрий.

Кроме того что тип двигателя, основанный на работе пиролизной печи, не только очень экономичный, он также способен обогреть салон автомобиля за несколько секунд.

РИА «Омск-Информ»