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

№ 6 (87) 2014 г. Издается с января 2002 г. Периодичность – ежемесячно

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

Анисимов И.А., Чикишев Е.М.

Комплексная оценка работы газобаллонных автомобилей в условиях низких температур воздуха . . . 3

Гюльмалиев А.М., Каирбеков Ж.К., Мылтыкбаева Ж.К., Малолетнев А.С.

Вещественный состав бензиновых фракций из угля Каражырского месторождения и термодинамический анализ снижения содержания в них ароматических углеводородов . . . 10

Яковлева С.П., Махарова С.Н., Мордовской П.Г., Оконешникова Е.С., Корнильева Г.М., Птицына А.В.

Металловедческая экспертиза разрушения автомобильного баллона для природного топливного газа . . . 23

Августин Северин

Столичный транспорт переходит на экотопливо . . . 44

Дмитрий Ожегов

Презентация газового автобуса малого класса . . . 45

В Хабаровском крае будет разработана программа по переводу автомобильного парка региона на природный газ . . . 46

Газпром заинтересован в выходе на новые рынки СПГ в Азии, Америке и на Ближнем Востоке . . . 47

СПГ-терминал построят в Ленинградской области . . . 47

Дементьев В.В.

Малотоннажный сжиженный природный газ и его развитие в России . . . 48

Алина Распопова

Автокомпании переключились на новый элемент . . . 54

Ученые из США подняли в небо самолет на топливе из морской воды . . . 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
С.А. Жиркина

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 28.05.2014 г.
Формат 60×88 1/8. Бумага мелованная.
Усл. печ. л. 6,86.
Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб. д. 54, пом. 4

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

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

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

© Издательство “Машиностроение”, “АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо”, 2014

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

№ 6 (87) 2014 г. **Published from January, 2002** **Periodicity – monthly**

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

CONTENTS

Anisimov I.A., Chikishev E.M.
Comprehensive evaluation of natural gas vehicles in the conditions of low air temperatures 3

Gyulmaliev A.M., Kairbekov Zh.K., Myltykbaeva Zh.K., Maloletnev A.S.
Material composition of gasoline fractions of Karazhirskogo deposits coal and thermodynamic analysis of reducing in them the content of aromatic hydrocarbons 10

Yakovlev S.P., Maharova S.N., Mordovskoy P.G., Okoneshnikova E.S., Korniljeva G.M., Ptitsina A.V.
Swimming expertise destruction of the motor cylinder for natural gas 23

Avgustint Severin
Metropolitan transport moves to ėkotoplivo 44

Dmitry Ozhegov
Presentation small class bus gas 45

In the Khabarovsk region program will be developed to transfer the region's vehicle fleet to natural gas. . . . 46

Gazprom is interested in entering new markets for LNG in Asia, America and the Middle East 47

LNG terminal to be built in the Leningrad region 47

Dementyev V.V.
Small-capacity liquefied natural gas and its development in Russia 48

Alina Raspopova
Avtokompanii switched to the new item 54

Scientists from the United States rose in the sky airplane fuel from seawater 56

Founder –
LLC "Publishers Machinostroenie"

Editor-in-chief:
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
S.A. Zhirkina

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

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА

И.А. Анисимов, Е.М. Чикишев

В работе предложены комплексный подход в оценке работы автомобилей на газообразном топливе и бензине в условиях низких температур окружающего воздуха. Дана оценка изменению расхода топлива и выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей. Получены графические зависимости. Предложены математические модели, описывающие эти зависимости. Сделан вывод о том, какое из рассмотренных топлив менее восприимчиво к изменению температуры воздуха с точки зрения топливной экономичности и экологичности.

Ключевые слова: низкие температуры воздуха, бензин, компримированный природный газ, расход топлива, экологичность.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF NATURAL GAS VEHICLES IN THE CONDITIONS OF LOW AIR TEMPERATURES

I.A. Anisimov, E.M. Chikishev

In this paper we propose an integrated approach to the evaluation of cars on gaseous fuel and gasoline at low ambient temperatures. The estimation of the change in fuel consumption and emissions of harmful substances in exhaust gases of vehicles. Graphic dependences obtained. The mathematical models that describe these dependencies. Concluded which of the fuels considered less susceptible to changes in air temperature in terms of fuel efficiency and environmental friendliness.

Keywords: low temperatures, petrol, compressed natural gas, fuel consumption, ecological compatibility.

Проводя анализ рынка нефтяных продуктов можно заключить, что запасы данных углеводородов неуклонно снижаются. Это можно объяснить стремительным ростом автомобильного парка, а также истощением природных месторождений. Вдобавок ко всему цены на жидкое нефтяное моторное топливо стабильно растут, что приводит к повышению затрат на перевозку грузов и пассажиров. Все это обуславливает проблему, которую частично можно решить замещением традиционных моторных топлив (бензин и дизельное топливо) альтернативными. На сегодняшний день самым реальным и перспективно развивающимся направлением по данному вопросу во всем мире и в нашей стране является использование компримированного (сжатого) природного газа (КПГ). Именно использование КПГ на автомобильном транспорте в ближайшем будущем может стать реальным заменителем таких топлив, как бензин и дизельное топливо. К тому же природный газ при сгорании в двигателях выделяет меньшее количество вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) по сравнению с нефтяными моторными топливами [5].

Однако до полномасштабной газификации транспорта в России есть определенное время. Однако те проблемы, с которыми сталкиваются при использовании природного газа в качестве моторного топлива, необходимо решать уже сейчас [1]. Например, при эксплуатации транспорта в России большое внимание уделяется природно-климатическим факторам и, в частности температуре окружающего воздуха. В зависимости от значения температуры окружающей среды условия эксплуатации можно разделить на низкотемпературные, стандартные и высокотемпературные. Низкотемпературные – это такие условия эксплуатации, при которых тем-

пература окружающего воздуха ниже стандартной. Под стандартными условиями эксплуатации можно понимать условия, при которых производится оценка показателей качества новых автомобилей [10]. Обычно это температура воздуха +25 °С. И соответственно высокотемпературными считаются условия выше стандартных.

Исходя из того, что зона холодного климата занимает самую большую часть территории нашей страны – около 70 % (центральные и северные части России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток), следовательно, на большей части России преобладают низкие температуры окружающего воздуха.

Проблемам низкотемпературной эксплуатации транспортных средств посвящены работы Ю.А. Бакуревича, В.И. Ерохова, В.Н. Иванова, Г.В. Крамаренко, Г.С. Лосавио, Н.Г. Певнева [7], Л.Г. Резника, Н.В. Семенова, а также других авторов. Однако до настоящего времени исследований по влиянию температур воздуха ниже стандартных на эксплуатацию газобаллонных автомобилей (ГБА), работающих на КПГ, проведено недостаточно.

В частности, при низкотемпературной эксплуатации транспорта происходит изменение расхода топлива и количественных выбросов ВВ с ОГ. Данные изменения приводят к неверной корректировке норм и нормативов технической эксплуатации, в том числе норм расхода топлива и плате за выбросы ВВ с ОГ. Более объективно норму расхода топлива можно получить, основываясь на приспособленности автомобилей при работе на КПГ и на бензине к условиям низких температур воздуха. Эта оценка позволит выявить, при работе на каком топливе (бензине или природном газе) автомобиль более приспособлен к температурному изменению условий эксплуатации [11, 12].

Следовательно, работы, направленные на установление закономерностей влияния низкотемпературных условий эксплуатации на расход топлива и выбросы ВВ с ОГ ГБА, работающих на КПГ, и разработка на их основе путей снижения токсичности ОГ и сбережения топливно-энергетических ресурсов, являются актуальной научной задачей.

Объектом исследования служит процесс изменения расхода топлива и содержания оксида углерода, углеводородов, оксида азота ГБА, работающего на бензине и природном газе, при низкотемпературных условиях эксплуатации, а *предметом исследования* – этот процесс для автомобиля ГАЗ-3221 с двигателем ЗМЗ.

На кафедре "Эксплуатация автомобильного транспорта" Тюменского государственного нефтегазового университета был проведен ряд стендовых испытаний на двигателе ЗМЗ (с тормозным устройством, состоящим из балансирной машины АКБ 92-4 (двигатель-генератор постоянного тока), весового устройства ВКМ-32 типа РП-10 Ш13 и жидкостного реостата), работающего на бензине и КПГ. Выбор в качестве предмета исследования двигателя ЗМЗ обусловлен тем, что различные его модификации устанавливаются на микроавтобусы семейства "ГАЗель", которые имеют широкое применение в нашей стране при перевозке пассажиров и грузов.

Согласно ГОСТ Р 41.49–2003 замеры по содержанию вредных компонентов CO, C_nH_m и NO_x в ОГ и расходу топлива были проведены по циклу ESC (European Stationary Cycle) – испытательный цикл, состоящий из 13 режимов устойчивой работы двигателя. При этом температура воздуха на входе в двигатель изменялась от –35 до +25 °С. Согласно методике производились замеры параметров работы двигателя: частоты вращения коленчатого вала (n) и тормозного крутящего момента (P), а также часовой расход топлива, температура воздуха на входе в двигатель, содержание CO, C_nH_m и NO_x в ОГ.

Содержание ВВ замерялось анализирующими приборами: газоанализатором ГИАМ-27-04 (измеряет содержание оксидов азота) и газоанализатором ГИАМ-29 (измеряет содержание оксидов углерода и углеводородов (по гексану)). Расход бензина измерялся расходомером, состоящим из измерительной колбы, встроенной в бензопровод. Расход природного газа рассчитывался согласно справочным таблицам [9].

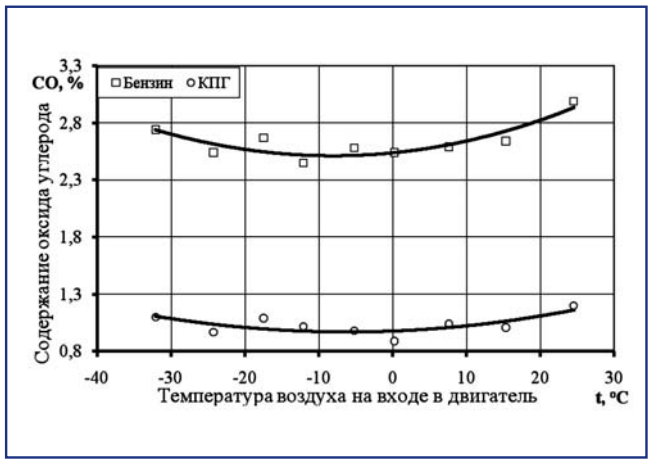


Рис. 1. Зависимость содержания оксида углерода в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 0 кВт, n = 800 мин$^{-1}$

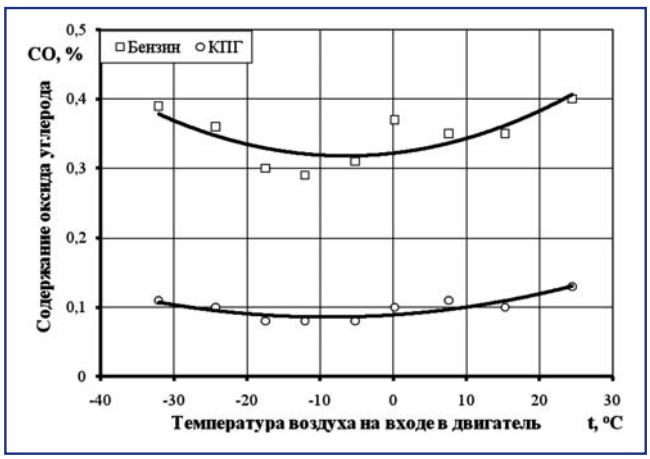


Рис. 2. Зависимость содержания оксида углерода в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 26,4 кВт, n = 2500 мин$^{-1}$

По результатам обработки стендовых испытаний были построены графические зависимости влияния температуры окружающего воздуха на выбросы ВВ с ОГ и расход топлива [4]. Некоторые из них представлены на рис. 1–9 (по выбросам ВВ) и рис. 10–12 (по расходу).

Из представленных графических зависимостей следует, что температура воздуха на входе в двигатель существенно влияет на объемное содержание CO, C_nH_m и NO_x в ОГ. Это объясняется изменением состава топливо-воздушной смеси и, соответственно, коэффициентом избытка воздуха α. С понижением температуры воздуха на входе в двигатель увеличивается плотность воздуха, а это ведет к повышению коэффициента избытка воздуха α.

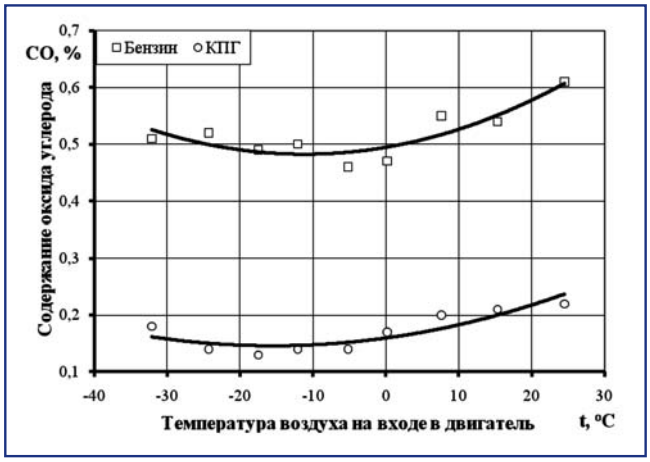


Рис. 3. Зависимость содержания оксида углерода в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 64,7 кВт, n = 3000 мин$^{-1}$

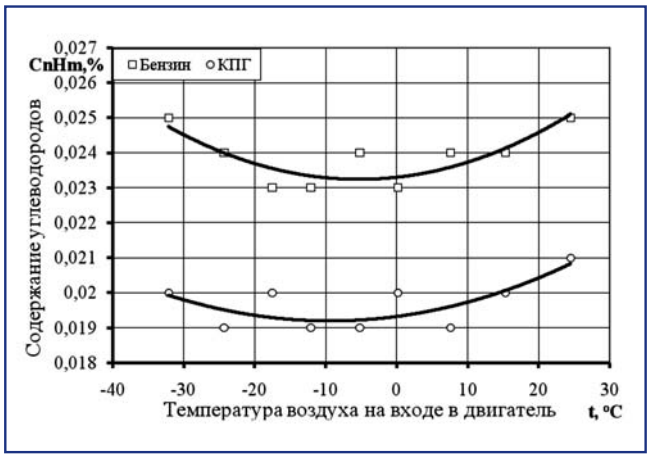


Рис. 4. Зависимость содержания углеводородов в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 0 кВт, n = 800 мин$^{-1}$

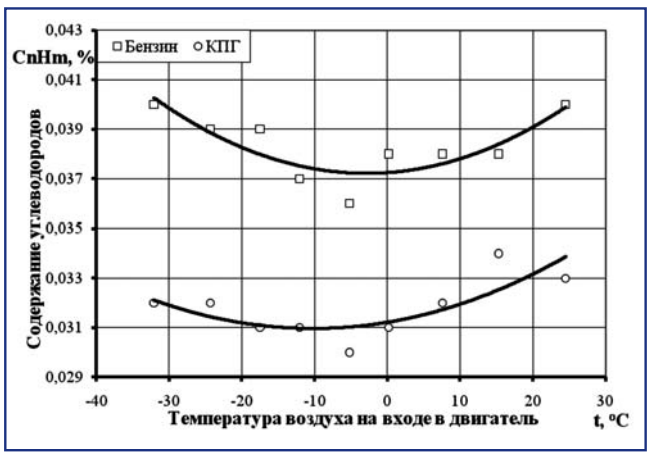


Рис. 5. Зависимость содержания углеводородов в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 26,4 кВт, n = 2500 мин$^{-1}$

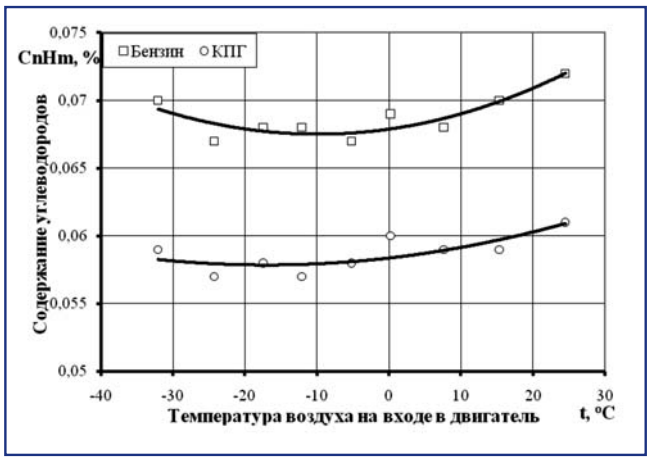


Рис. 6. Зависимость содержания углеводородов в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при $P = 64,7$ кВт, $n = 3000$ мин$^{-1}$

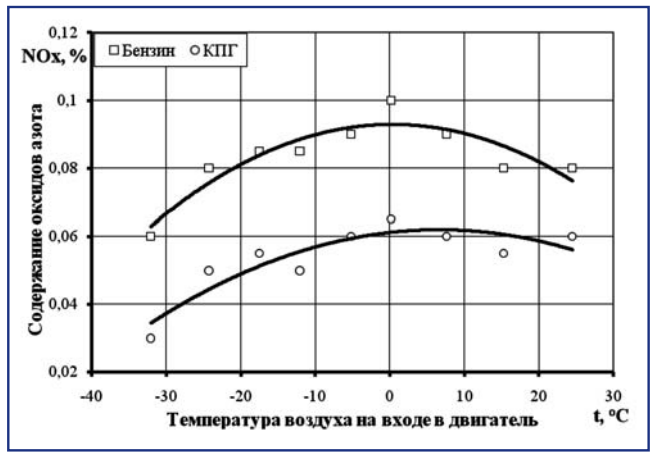


Рис. 8. Зависимость содержания оксидов азота в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при $P = 26,4$ кВт, $n = 2500$ мин$^{-1}$

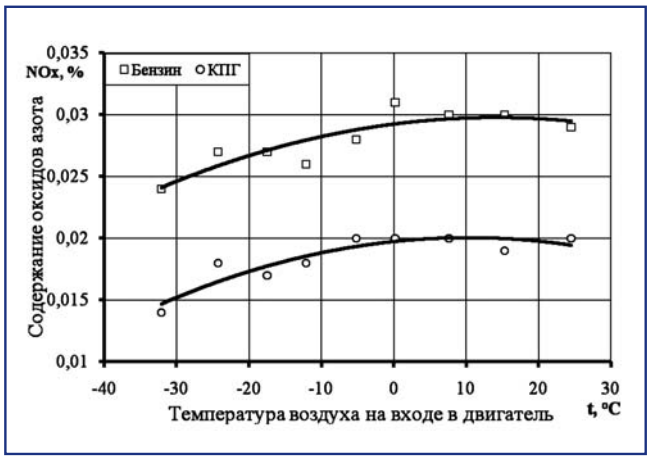


Рис. 7. Зависимость содержания оксидов азота в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при $P = 0$ кВт, $n = 800$ мин$^{-1}$

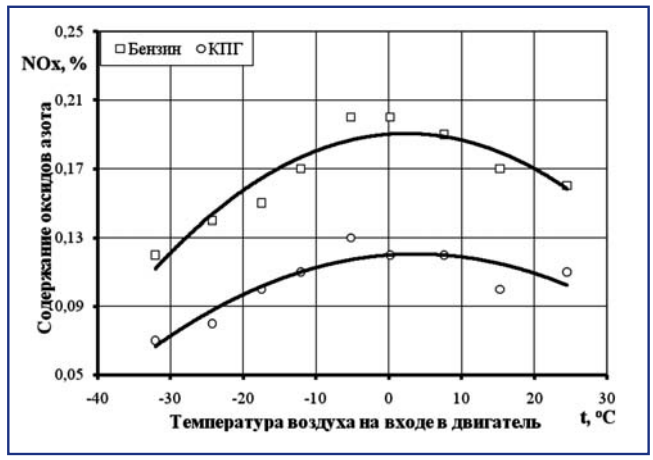


Рис. 9. Зависимость содержания оксидов азота в ОГ от температуры воздуха на входе в двигатель при $P = 64,7$ кВт, $n = 3000$ мин$^{-1}$

При использовании бензина в качестве топлива значительная его часть поступает в цилиндры в виде жидкой фазы (капель и пленки), что может приводить к ухудшению смесеобразования, по сравнению с применением КПГ, который поступает двигатель в виде газовой фазы.

Токсичность ОГ при переводе двигателей на питание КПГ по сравнению с бензином заметно снижается. Значительно уменьшается количество оксида углерода (60–75 %) в ОГ. Также снижаются выбросы углеводородов (10–25 %). В связи с более низкой температурой рабочего цикла концентрация оксидов азота уменьшается на 25–50 %. Газовое топливо по сравнению с бензином имеет более широкие пределы воспламенения. Это позволяет на основных эксплуатационных режимах наиболее эффективно обеднить горючую смесь.

Содержание оксида углерода в ОГ достигает минимума в диапазоне значений температур воздуха на входе в двигатель от –20 до +5 °С при работе двигателя на бензине и от –25 до 0 °С при работе на природном газе в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы. Содержание углеводородов в ОГ в зависимости от температуры воздуха на входе в двигатель снижается незначительно и на бензине, и на природном газе.

Зависимость изменения объемного содержания NO_x в ОГ от температуры воздуха отличается

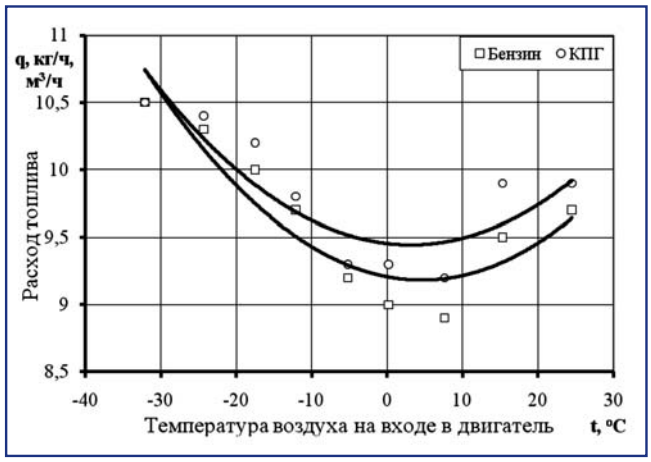


Рис. 10. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 26,4 кВт, n = 2500 мин⁻¹

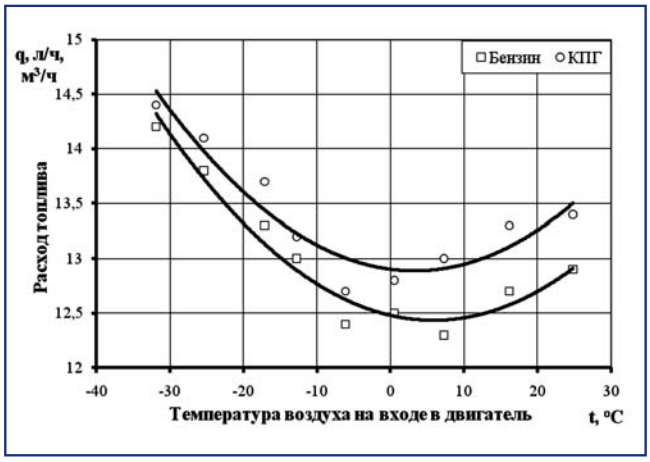


Рис. 11. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 42,9 кВт, n = 2650 мин⁻¹

по характеру поведения от зависимостей CO и C_nH_m. Содержание NO_x в ОГ достигает своего максимального значения при температурах от –5 до +20 °C в зависимости от режима работы двигателя. При снижении температуры воздуха объемное содержание оксидов азота в ОГ уменьшается как при работе на бензине, так и на КПГ. Однако на газе выбросы NO_x снижаются значительнее.

Из представленных графиков (рис. 10–12) можно заключить следующее: минимальный расход топлива на бензине достигается при температурах воздуха от –5 до +15 °C, а на природном газе от –10 до +15 °C в зависимости от режима работы двигателя. При отклонении от оптимума расход топлива увеличивается, а вместе с ним изменяются и выбросы ВВ с ОГ. Стоит также указать, что при прочих равных условиях расход сжатого газа немного выше, чем бензина. В Распоряжении [8] указывается, что 1 л бензина соответствует 1±0,1 м³ КПГ (в зависимости от свойств природного газа). Следовательно, это небольшое увеличение расхода газа можно объяснить химическим составом природного газа.

В результате обработки экспериментальных данных получены численные значения параметров, входящих в математические модели влияния температуры воздуха на входе в двигатель на изменение содержания CO, C_nH_m, NO_x в ОГ и расхода топлива.

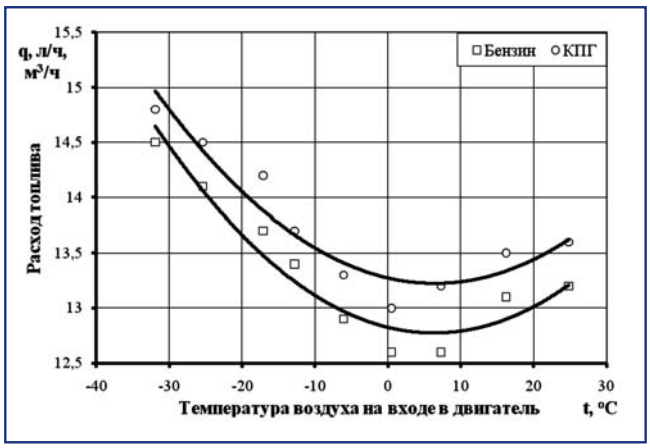


Рис. 12. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 48,5 кВт, n = 3000 мин⁻¹

При $P = 0$ кВт, $n = 800$ мин$^{-1}$ уравнения изменения содержания CO, C_nH_m, NO_x в ОГ имеют вид:

на бензине

$$X_{CO} = 2{,}51 + 3{,}96 \cdot 10^{-4} (t_ф + 8)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}0232 + 2{,}09 \cdot 10^{-6} (t_ф + 5)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}0298 - 2{,}65 \cdot 10^{-6} (t_ф - 14)^2 ;$$

на КПГ

$$X_{CO} = 0{,}97 + 2{,}04 \cdot 10^{-4} (t_ф + 6)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}0192 + 1{,}42 \cdot 10^{-6} (t_ф + 9)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}02 - 2{,}99 \cdot 10^{-6} (t_ф - 10)^2 .$$

При $P = 28{,}5$ кВт, $n = 2650$ мин$^{-1}$ имеют вид:
на бензине

$$X_{CO} = 0{,}30 + 1{,}03 \cdot 10^{-4} (t_ф + 8)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}0393 + 3{,}15 \cdot 10^{-6} (t_ф + 1)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}0984 - 3{,}43 \cdot 10^{-5} (t_ф - 1)^2 ;$$

на КПГ

$$X_{CO} = 0{,}08 + 3{,}85 \cdot 10^{-5} (t_ф + 7)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}033 + 1{,}64 \cdot 10^{-6} (t_ф + 12)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}058 - 2{,}22 \cdot 10^{-5} (t_ф - 5)^2 .$$

При $P = 64{,}7$ кВт, $n = 3000$ мин$^{-1}$ имеют вид:
на бензине

$$X_{CO} = 0{,}48 + 9{,}84 \cdot 10^{-5} (t_ф + 11)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}0675 + 3{,}39 \cdot 10^{-6} (t_ф + 10)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}191 - 6{,}59 \cdot 10^{-5} (t_ф - 2)^2 ;$$

на КПГ

$$X_{CO} = 0{,}146 + 5{,}71 \cdot 10^{-5} (t_ф + 15)^2 ,$$

$$X_{CH} = 0{,}0579 + 1{,}78 \cdot 10^{-6} (t_ф + 17)^2 ,$$

$$X_{NO} = 0{,}121 - 4{,}2 \cdot 10^{-5} (t_ф - 4)^2 .$$

При $P = 13{,}2$ кВт, $n = 2500$ мин$^{-1}$ уравнения изменения расхода топлива имеют вид:
на бензине

$$q_m = 3{,}51 + 4{,}25 \cdot 10^{-4} (t_ф + 1)^2 ,$$

на КПГ

$$q_m = 3{,}65 + 3{,}66 \cdot 10^{-4} (t_ф + 5)^2 .$$

При $P = 28{,}5$ кВт, $n = 2650$ мин$^{-1}$ имеют вид:
на бензине

$$q_m = 8{,}43 + 1{,}18 \cdot 10^{-3} (t_ф - 4)^2 ,$$

на КПГ

$$q_m = 8{,}72 + 1{,}21 \cdot 10^{-3} (t_ф - 3)^2 .$$

При $P = 64{,}7$ кВт, $n = 3000$ мин$^{-1}$ имеют вид:
на бензине

$$q_m = 19{,}07 + 1{,}14 \cdot 10^{-3} (t_ф - 4)^2 ,$$

на КПГ

$$q_m = 19{,}69 + 9{,}98 \cdot 10^{-4} (t_ф - 4)^2 .$$

Численные значения коэффициентов корреляции уравнений изменения содержания ВВ в ОГ и расхода топлива для различных режимов работы двигателя составили: для CO – 0,84...0,89, для C_nH_m – 0,79...0,89, для NO_x – 0,81...0,98, для q – 0,85...0,98, а коэффициента детерминации для CO – 0,70...0,79, для C_nH_m – 0,61...0,80, для NO_x – 0,66...0,95, q – 0,76...0,98.

В работах Н.Я. Говорущенко, Л.Г. Резника, В.Н. Карнаухова, Д.А. Захарова и др. показаны графические зависимости расхода топлива и выбросов ВВ с ОГ, при изменении температуры окружающего воздуха, бензиновых двигателей, из которых видно, что они имеют U-образный вид. В данном исследовании также получены такие зависимости.

Проанализировав рис. 1–12, можно прийти к выводу: так как графические зависимости КПГ носят менее выраженный U-образный характер, чем у бензина, то, следовательно, природный газ менее восприимчив к изменению температуры окружающего воздуха по сравнению с бензином с точки зрения топливной экономичности и экологичности. А это значит, что автомобили "ГАЗель" с двигателем ЗМЗ, которые эксплуатируются на КПГ, при прочих равных условиях будут более приспособлены к изменению температурных условий, чем при работе на бензине.

Проведенные исследования затрагивают небольшой объем тех проблем, которые возникают при эксплуатации газобаллонных автомобилей в условиях низких температур воздуха. Необходима оценка пусковых качеств и разработка устройств, облегчающих запуск автомобилей на газовом топливе. Стоит отметить, что в исследованиях не рассмотрены особенности работы автомобилей по газодизельному циклу в данных условиях эксплуатации, которые также актуальны для России [2, 3, 6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Анисимов И.А.** Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на различных видах топлива // Трнспорт Урала. 2008. № 4. С. 90–91.

2. **Анисимов И.А., Иванов А.С.** Корректирование норм расхода топлива газодизельных автомобилей при выполнении транспортной работы в низкотемпературных условиях // Автотранспортное предприятие. 2011. № 7. С. 51.

3. **Анисимов И.А., Иванов А.С.** Токсичность газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Транспорт Урала. 2010. № 1. С. 83–85.

4. **Анисимов И.А., Чикишев Е.М.** Влияние низких температур воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине // Автозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 5. С. 32–37.

5. **Ерохов В.И.** Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика): учебник. Москва, 2012.

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

7. **Певнев Н.Г.** Совершенствование процесса эксплуатации газобаллонных автомобилей с двухтопливной системой питания: дисс. ... д-ра техн. наук. Омск, 2004.

8. **Распоряжение** от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. Министерство транспорта Российской Федерации. О введении в действие методических рекомендаций "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте". М., 2008. 41 с.

9. **РД 3112199-1095–03.** Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. 2002. 59 с.

10. **Термины** и определения в рекомендациях СЭВ по стандартизации / Под ред. Л.Ю. Белахова и И.Н. Попова-Черкасова. М., 1970. 164 с.

11. **Чикишев Е.М.** Оценка приспособленности газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и токсичности отработавших газов: дисс. ... канд. техн. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 189 с.

12. **Чикишев Е.М.** Экономические и экологические аспекты эксплуатации транспортных средств на компримированном природном газе и бензине в условиях низких температур воздуха // Автотранспортное предприятие. 2010. № 1. С. 43–45.

УДК 662.74:552

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ ИЗ УГЛЯ КАРАЖЫРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ В НИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.М. Гюльмалиев, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва
Ж.К. Каирбеков, Ж.К. Мылтыкбаева, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы
А.С. Малолетнев, Горный институт НИТУ МИСиС, Москва

Приведены результаты исследования вещественного состава бензиновой фракции гидрогенизации угля Каражирского месторождения в присутствии термостойкого природного цеолита месторождения Семей-тау (Республика Казахстан). Проведено гидрооблагораживание угольной бензиновой фракции на катализаторах Ni–Re и Mo/Ni–Re и показано, что после гидрооблагораживания доля ароматических углеводородов в ней существенно снижается. Для определения путей эффективного уменьшения доли ароматических структур в угольных дистиллятах методами химической термодинамики проведен расчет равновесного состава реакций гидрирования бензола и нафталина в различных средах.

Ключевые слова: гидрогенизация угля, бензиновая фракция, катализаторы гидроочистки, равновесный состав, термодинамический расчет.

MATERIAL COMPOSITION OF GASOLINE FRACTIONS OF KARAZHIRSKOGO DEPOSITS COAL AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REDUCING IN THEM THE CONTENT OF AROMATIC HYDROCARBONS

A.M. Gyulmaliev, the Institute of Petrochemical Synthesis, Moscow.
Z.K. Kairbekov, Zh.K. Myltykbaeva, the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty,
A.S. Maloletnev, Moscow State Mining University National Research Technological University (NRTU) "MISA", Moscow

The results of the study of the material composition of the gasoline fraction coal hydrogenation Karazhirskogo field in the presence of heat-resistant natural zeolite deposits of Semey-tau (Kazakhstan). Held hydrotreating coal gasoline fraction on the catalysts Ni–Re and Mo/Ni–Re and showed that after hydrotreating proportion of aromatic hydrocarbons in it significantly reduced. To identify ways to effectively reduce the proportion of aromatic structures in coal distillates, methods of chemical thermodynamics calculated the equilibrium composition of hydrogenation of benzene and naphthalene in different environments.

Keywords: hydrogenation of coal, gasoline fraction, hydrotreating catalysts, equilibrium composition, thermodynamic calculation.

Жидкие продукты, полученные гидрогенизацией углей (выход 40...45 % от угля), состоят в основном из фракций с температурой кипения до 360 °С и являются потенциальным сырьем для производства моторных топлив с применением методов гидроочистки, гидрокрекинга, каталитического риформинга, известными из практики нефтеперерабатывающих заводов.

Угольные дистиллятные фракции содержат в своем составе помимо гетероциклических со-

Таблица 1

Современные требования к качеству автомобильных бензинов

Показатель	Стандарты РФ		Стандарты ЕЭС (EN-228)		
	ГОСТ 2084–77	ГОСТ Р 51105–97	Евро-3	Евро-4с	Евро-5с
Максимальное содержание, % мас.:					
бензола	–	5,0	1,0	1,0	1,0
ароматических углеводородов	55	55	35	30	30
Содержание серы, % мас., не более	0,1	0,05	0,015	0,005	0,001
Октановое число, не менее:					
ММ	89,0	82,5	95,0	95,0	95,0
ИМ	98	91	98	98	98

единений значительное количество ароматических углеводородов. Если удаление первых и получение углеводородных топлив с улучшенными экологическими характеристиками на существующих в нефтепереработке промышленных катализаторах гидроочистки не вызывает трудностей [1], то для уменьшения содержания ароматических углеводородов с 45...50 до 20 % и менее в составе автобензинов (табл. 1) и дизельных топлив (табл. 2), как это требуется по стандартам Евро на экологически безопасные моторные топлива, принятым во многих европейских странах, необходимо применение на стадии гидрооблагораживания угольных дистиллятов новых каталитических систем.

Одним из таких катализаторов является вольфрамникельсульфидный (НВС-30), разработанный в институте ОАО "ВНИИНП" и позволяющий при невысоком давлении достигать 92 %-е обессеривание угольного сырья и 75 %-е гидрирование ароматических углеводородов [2] по сравнению с 75 % и 35 % для существующих промышленных катализаторов соответственно. После гидроочистки в его присутствии угольные дистилляты с температурой кипения 180...360 °С по своим физико-химическим и эксплуатацион-

Таблица 2

Современные требования к качеству дизельных топлив

Показатель	Россия ГОСТ Р 52368–2005	Стандарты ЕЭС		
		Евро-3	Евро-4	Евро-5
Содержание серы, % мас., не более	0,05	0,035	0,005	0,001
Плотность при 15 °С, кг/м^3	820...845	820...845	820...845	820...830
Содержание ароматических углеводородов, % об., не более	Не нормируется	15	Нет	Нет
Содержание полициклических ароматических углеводородов, % об., не более	Не нормируется	11	11	2
Цетановое число, не менее	51	51	51	54
Температура выкипания 95 %, °С, не выше	360	360	360	340...350

ным свойствам соответствуют требованиям стандарта Евро-3 на малосернистое дизельное топливо, а гидроочищенный бензин может быть применен в качестве компонента автомобильного бензина стандартов Евро-3 и Евро-4.

В настоящей статье приведены данные по исследованию вещественного состава бензиновых фракций, полученных гидрогенизациией угля Каражирского месторождения (Республика Казахстан) и термодинамический анализ снижения содержания в них ароматических углеводородов.

В качестве сырья для гидрогенизации применяли уголь со следующими характеристиками (% мас.): W^a воздушно сухого угля 8,0; A^a – 7,2; V^{daf} – 45,4; C^{daf} – 69,7; H^{daf} – 5,7; S_t^d – 1,16; N^{daf} – 1,41; O^{daf} – 22,03.

В химическом составе минеральной части угля установлено содержание (% мас.): SiO_2 – 59,0; Al_2O_3 – 24,54; Fe_2O_3 –5,04; CaO – 2,24; MgO – 2,01; TiO_2 – 1,35; K_2O – 1,57; Na_2O – 1,53; SO_3 – 1,83, а также 0,39 % редкоземельных элементов [3].

Гидрирование угля осуществляли в условиях проточной лабораторной установки высокого давления с пустотелым реактором объемом 0,25 дм^3 при 4 МПа, 420 °С, объемной скорости подачи сырья 1,0 ч$^{-1}$ в присутствии термостойкого природного цеолита месторождения Семей-тау (Казахстан). При приготовлении угленефтяной пасты в качестве пастообразователя применяли высококипящие фракции с температурой кипения выше 500 °С, выделенные из нефти месторождения Каражанбас, который смешивали с углем в соотношении 1:1,3 [4].

Полученные угольные дистилляты с температурой кипения до 180 °С подвергали гидроочистке при давлении 4...5 МПа в присутствии Ni–Re катализатора, нанесенных на него Мо-гуматных комплексных катализаторах (Ni–Re/Мо–Гу) и цеолитного катализатора.

По данным газохроматографического анализа в составе гидроочищенной бензиновой фракции, отмечены очень сильные изменения по составу по сравнению с исходным бензином (табл. 3). Содержание парафинов увеличилось с 29,45 до 48,23 %, а изопарафинов и ароматических углеводородов снизилось с 29,19 до 24,36 % и с 28,19 до 6,44 %, соответственно. В то же время содержание нафтеновых углеводородов возросло с 9,5 до 13,75 %, а олефиновых углеводородов – с 3,66 до 6,49 %. Отмечено появление диеновых и циклоолефиновых углеводородов, отсутствоваших в составе исходного бензина. Эти изменения вызвали снижение октанового числа бензина от 69,5 до 55 пунктов.

С целью повышения селективности катализаторов гидрооблагораживания угольных дистиллятов на Мо-гуматный комплекс был нанесен сплав Ni–Re. Если в исходном бензине, полученного гидрогенизацией угля в присутствии цеолита, содержание парафинов составило 32,45 %, то после гидроочистки на нанесенном Мо–Гу/Ni–Re катализаторе – на 19,17 % ниже. В том числе снизилось содержание нонана (с 10,98 до 5,54 %) и декана (с 8,97 до 3,82 %), что свидетельствует о том, что на Мо–Гу/Ni–Re катализаторах возможно протекание реакций гидрокрекинга, изомеризации и циклизации.

В гидроочищенном бензине обнаружены не присутствовавшие в исходной бензиновой фракции 2,2-диметилбутан (0,027 %), 2,4-диметилпентан (0,0320 %), 2,3,4-три-метилпентан (0,7280 %), 2,4,4-триметил-гексан (0,6230 %), 2-метил-4-этилгексан (0,6880 %), 2-метилнонан (5,331 %) и другие углеводороды.

Содержание некоторых изопарафинов увеличилось в 2–5 раз (2,2,3,4-тетраметилпентан, 3,3-диэтилпентан, 3-этилгептан). Если содержание нафтеновых углеводородов в исходном бензине составило 9,50 %, то после гидроочистки на Мо–Гу/Ni–Re катализаторе – 5,93 %.

Следует отметить, что в процессе гидроочистки протекают реакции деалкилирования алкилароматических углеводородов, в результате чего содержание ароматических углеводородов увеличивается в 2 раза.

При этом октановое число гидроочищенного на Мо–Гу/Ni–Re катализаторе бензина увеличилось до 78,8 пунктов по сравнению с октано-

Таблица 3

Влияние природы катализатора на вещественный состав бензиновых фракций с температурой кипения до 180 °С

Углеводороды	Без катализатора	Катализаторы			
		Боксит	Цеолит	Ni–Re	Mo/Ni–Re
		Исходная фракция		Гидроочищенная фракция	
Октановое число	65,0	69,2	69,2	55,0	78,6
Парафины	28,82	22,11	32,45	48,23	19,17
Пропан	–	–	–	–	–
Бутан	–	0,1366	0,0082	–	–
Пентан	0,0899	0,3093	0,0300	0,7235	0,0520
Гексан	1,7380	1,0861	0,6350	5,7630	0,2350
Гептан	6,9010	5,8370	3,9070	11,000	0,8560
Октан	11,600	6,4180	7,9120	12,850	5,1370
Нонан	6,7150	5,7380	10,980	10,400	5,5450
Декан	1,7790	2,9250	8,9770	7,4970	3,8270
Изопарафины	32,70	35,07	29,19	24,36	30,16
Изобутан	–	–	–	–	–
2,2-Диметилбутан	–	–	–	1,016	0,0270
2,3-Диметилбутан	–	–	–	–	0,0660
2,2,3-Триметилбутан	0,8331	–	0,2381	0,5517	–
Изопентан	–	–	0,0156	–	–
2-Метилпентан	–	–	0,0815	–	0,1150
3-Метилпентан	–	0,4807	0,1637	0,1824	0,1540
2,2-Диметилпентан	0,5533	–	–	0,4146	–
2,4-Диметилпентан	–	1,039	–	–	0,0320
3,3-Диметилпентан	0,3191	0,9311	0,1401	2,8910	0,0180
2,3-Диметилпентан	–	0,7272	0,1804	0,0969	–
3-Этилпентан	–	–	–	0,1824	0,0580
2,3,4-Триметилпентан	0,4515	0,6428	–	0,4146	0,7280
2,3,3-Триметилпентан	1,5730	–	–	0,6941	0,0550
2,2,3,4-Тетраметилпентан	–	1,3985	0,1246	0,4102	0,5210
2,2,3,3-Тетраметилпентан	0,8027	1,4345	–	–	–
2,3,3,4-Тетраметилпентан	0,7804	1,4369	0,4577	0,6183	–
2,4,3,4-Тетраметилпентан	–	1,3683	1,0180	0,4795	–
2,2-Диметил-3-этилпентан	1,5460	0,5615	0,8960	1,0890	1,7940
3,3-Диэтилпентан	–	1,4440	0,9671	0,4788	1,8560
2,3,4-Тетраметил-3-этиленпентан	0,8366	0,2838	–	–	–
2-Метилгексан	–	0,4742	0,4716	0,7385	0,1570

Продолжение табл. 3

Углеводороды	Без катализатора	Катализаторы			
		Боксит	Цеолит	Ni–Re	Mo/Ni–Re
		Исходная фракция		Гидроочищенная фракция	
3-Метилгексан	0,5801	0,9129	0,6161	1,5940	0,2780
2,5-Диметилгексан	1,2970	0,8340	0,7212	1,1750	0,2130
3,3-Диметилгексан	–	1,5692	0,3157	3,2680	–
3,4-Диметилгексан	0,6862	1,0090	1,1040	–	0,2530
2,2-Диметилгексан	–	–	0,1428	–	–
2,3-Диметилгексан	1,8410	1,4350	0,4273	–	0,4380
3-Этилгексан	–	–	0,2982	0,9129	1,7900
2,2,5-Триметилгексан	3,4010	–	1,0660	–	0,7030
2,2,4-Триметилгексан	0,2579	1,1780	0,7860	–	–
2,4,4-Триметилгексан	–	–	–	–	0,6230
2,3,5-Триметилгексан	0,1679	–	0,1397	0,5687	–
3-Метил-3-этилгексан	2,3440	–	–	–	–
2,3,4-Триметилгексан	–	1,1090	0,6273	0,4369	–
3-Метил-4-этилгексан	0,2777	–	–	–	–
2-Метил-4-этилгексан	0,4740	–	–	–	0,6280
2,3,3,4-Тетраметилгексан	–	–	0,3776	–	–
3,3,4,4-Тетраметилгексан	–	0,2400	–	–	–
3,3,4-Тетраметилгексан	1,1990	1,5379	0,2862	–	0,9856
3,4-Диэтилгексан	–	0,1565	–	–	–
2-Метилгептан	0,6483	–	2,3400	0,7833	–
4-Метилгептан	–	2,1100	0,6969	0,2425	1,5090
2,2-Диметилгептан	–	1,5846	–	0,9259	0,7420
2,5-Диметилгептан	–	0,7517	0,8346	0,2245	0,3180
2,4-Диметилгептан	–	–	–	–	0,1270
3,3-Диметилгептан	–	–	0,7138	–	–
4,4-Диметилгептан	–	–	–	–	1,6290
2,3-Диметилгептан	1,2970	1,6680	1,1990	–	–
3-Этилгептан	0,1459	–	–	–	1,5645
2-Метил-4-этилгептан	0,2968	0,7944	0,5992	0,3629	–
3,3,5-Триметилгептан	0,3235	–	–	–	0,2290
2,3,5-Триметилгептан	–	0,4952	0,2196	–	0,6340
2,3,3-Триметилгептан	–	–	0,5540	–	–
2,3,4-Триметилгептан	1,1670	0,7382	–	–	–
2-Метил-3-этилгептан	–	–	1,0540	0,9262	1,8142

Продолжение табл. 3

Углеводороды	Без катализатора	Катализаторы			
		Боксит	Цеолит	Ni–Re	Mo/Ni–Re
		Исходная фракция		Гидроочищенная фракция	
3,5-Диметилгептан	1,3430	–	0,7217	–	1,4215
2,6-Диметилгептан	–	0,1730	–	–	0,5860
3,4,4-Триметилгептан	0,3416	–	3,5060	0,5546	–
Изооктан	–	–	–	–	–
4-Метилоктан	3,080	1,4630	0,2880	3,1910	0,3320
2-Метилоктан	–	–	2,3660	–	0,7250
3-Метилоктан	1,9690	–	1,4860	–	0,6000
2,2,6-Триметилоктан	0,4529	–	0,1442	–	–
2,6-Диметилоктан	–	–	–	–	0,5890
5-Метилнонан	0,1225	–	–	–	–
2,2,7-Триметилоктан	–	0,4282	0,9473	–	1,9215
4-Метилнонан	–	–	–	0,4471	–
2-Метилнонан	0,4479	–	–	–	5,3310
Ароматические углеводороды	17,47	21,55	28,19	6,4430	38,80
Бензол	0,4295	1,5250	–	–	–
Толуол	7,9630	4,1480	0,5382	0,5525	3,2430
Этилбензол	1,0570	2,9120	2,0590	0,6989	3,9260
п-Ксилол	5,2500	0,7757	1,0350	1,7320	2,7860
м-Ксилол	0,5083	3,3730	5,5910	0,3480	7,9140
о-Ксилол	–	2,6850	2,6510	–	6,2820
1-Метил-3-этилбензол	–	1,5230	3,3420	1,2180	6,3750
1-Метил-4-этилбензол	–	0,8535	2,4626	–	–
1-Метил-2-этилбензол	0,6518	1,5700	3,5650	–	–
1,3,5-Триметилбензол	0,4149	0,9330	2,3000	1,0590	2,3190
1,2,4-Триметилбензол	0,6096	1,2510	4,6460	0,8356	5,9550
Нафтены	12,35	13,22	9,5060	13,75	5,93
1,2-Диметилциклопентан цис	–	0,6272	–	0,2049	0,5290
1,2-Диметилциклопетнат транс	–	0,5156	0,0346	0,8006	0,2390
Циклопентан	0,1038	–	–	0,7463	–
Этилциклобутан	0,0503	0,0394	0,2913	–	–
Циклогексан	0,1811	0,2018	0,1318	0,3306	–
2,3-Диметилциклопентан цис	–	1,4090	0,6524	–	–
Винилциклопентан	0,2112	0,7411	–	0,2179	0,6120
1,1,3-Триметилциклопентан	0,5252	0,0394	0,7349	1,4270	0,5768

Продолжение табл. 3

Углеводороды	Без катализатора	Катализаторы			
		Боксит	Цеолит	Ni–Re	Mo/Ni–Re
		Исходная фракция		Гидроочищенная фракция	
Диметилциклопентан	0,3217	1,1760	0,0436	0,3295	–
1,2,3-Триметилциклопентан транс	1,2220	0,5338	–	0,8133	–
1,2,3-Триметилпентан цис	0,5401	1,0080	2,2980	–	0,4370
1,3-Этилметилпентан	1,4500	0,4637	0,3267	0,7810	–
1,2-Этилметилциклопентан транс	–	0,6098	0,3776	1,2960	–
Изопропилпентан	0,2040	0,6479	0,2192	0,1046	1,0940
Этилциклогексан	–	0,2217	0,7163	0,1831	0,5874
1-Метил-3-пропилциклопентан цис	0,5850	0,2230	0,4764	0,3539	–
1,1,3-Триметилциклогексан	0,6104	0,6783	0,3175	–	0,3200
1,3-Этилметилциклогексан	–	–	–	–	–
Пропилциклопентан	4,1540	–	–	0,3977	–
1,1,2-Триметилциклогексан	0,3160	–	–	–	0,3030
3-Этилциклопентан	–	–	–	1,1680	–
1-Метил-3-бутилциклопентан	–	0,1469	0,4520	0,6146	0,4225
1,3-Диметилциклопентан	0,2455	1,2560	0,1487	0,6567	–
Метиленциклогексан	–	0,2013	0,1064	0,9901	–
1,1-Метилэтилциклопентан	0,5529	0,6161	0,3255	–	–
1-Метил-3-пропилциклопентан	–	0,2230	0,6025	–	0,4523
Циклооктан	0,4797	–	0,3358	1,9470	–
1-Метил-3-бутилциклопентан	–	0,1469	0,6467	0,3873	0,3570
Циклогептан	1,1420	0,1200	–	–	–
Олефины	5,90	7,07	0,6622	6,49	5,43
3-Метилбутен-1	–	0,1495	–	–	–
3-Метилпентен-1	–	–	–	–	0,4580
2,3-Диметилбутен-1	–	–	–	0,1136	–
2-Этилбутен-1	–	–	–	–	2,042
3-Метилпентен-2	–	0,2227	–	0,1413	–
3,4-Диметилпентен-1	2,082	0,5281	0,0580	0,2100	0,5100
4,4-Диметилпентен-2	–	0,1920	–	–	–
3-Этилпентен-1	–	–	–	–	0,0760
3-Метилгексен-1	–	–	–	–	0,0380
3-Метилгексен-3	–	0,3256	–	–	–
3-Метилгексен-2	0,9639	0,9750	0,3287	1,4010	–
2-Метилгексен-2	–	1,0660	0,2755	–	0,0680

Окончание табл. 3

Углеводороды	Без катализатора	Катализаторы			
		Боксит	Цеолит	Ni–Re	Mo/Ni–Re
		Исходная фракция		Гидроочищенная фракция	
5-Метилгексен-1	–	0,3520	–	–	–
4-Метилгексен-1	–	0,1540	–	1,6910	0,1040
Триметилгексен-1	0,1031	0,6498	–	–	–
Гептен-1	–	–	–	0,4409	0,0850
Гептен-3	1,3020	0,7245	–	0,4630	–
Гептен-2 цис	0,3166	0,1155	–	0,5305	0,5180
Октен-2	–	–	–	–	0,6320
3,4-Диметилгексен-3	0,7695	0,9857	–	0,4343	–
Нонен-3 транс	0,1625	–	–	0,3991	–
Нонен-4	–	0,6275	–	0,6966	0,4170
Децен-5 цис	0,2015	–	–	–	–
Циклоолефины	1,6669	0,6400	0	0,4977	0,5020
Циклогексен	0,4139	0,4281	–	–	–
Циклооктен	0,9543	0,2146	–	–	0,1080
1-Этилциклопентен	0,2887	–	–	–	–
3-Метилциклооктен	–	–	–	0,4977	–
Циклопентан-2	–	–	–	–	0,0910
Циклононен-2	–	–	–	–	0,1880
Циклодекен-4	–	–	–	–	0,1150
Диены	1,1010	0	0	0,2218	0
Гексадиен-1,4 цис	0,0514	–	–	–	–
Гексадиен-1,3 транс	0,0921	–	–	–	–
Гексадиен-2,4 цис	0,1977	–	–	–	–
Гексадиен-2,4 транс	0,3286	–	–	–	–
Октадиен-2,6 цис	0,4311	–	–	–	–
2,3-Диметилбутадиен-1-3	–	–	–	0,2218	–

вым числом исходного бензина (69,28), а содержание серы составляло 0,01 %.

Полученные результаты показывают, что степень превращения ароматических соединений в значительной степени зависит от природы выбранного катализатора. В этой связи представлял интерес исследовать реакции гидрирования модельных соединений, входящих в состав бензиновых фракций в различных газовых средах, когда атомарный водород образуется непосредственно в реакционной среде. Методами химической термодинамики на примере модельных соединений бензола и нафталина рассмотрим реакции гидрирования ароматических структур в различных средах, где может образоваться активный водород в реакционной среде.

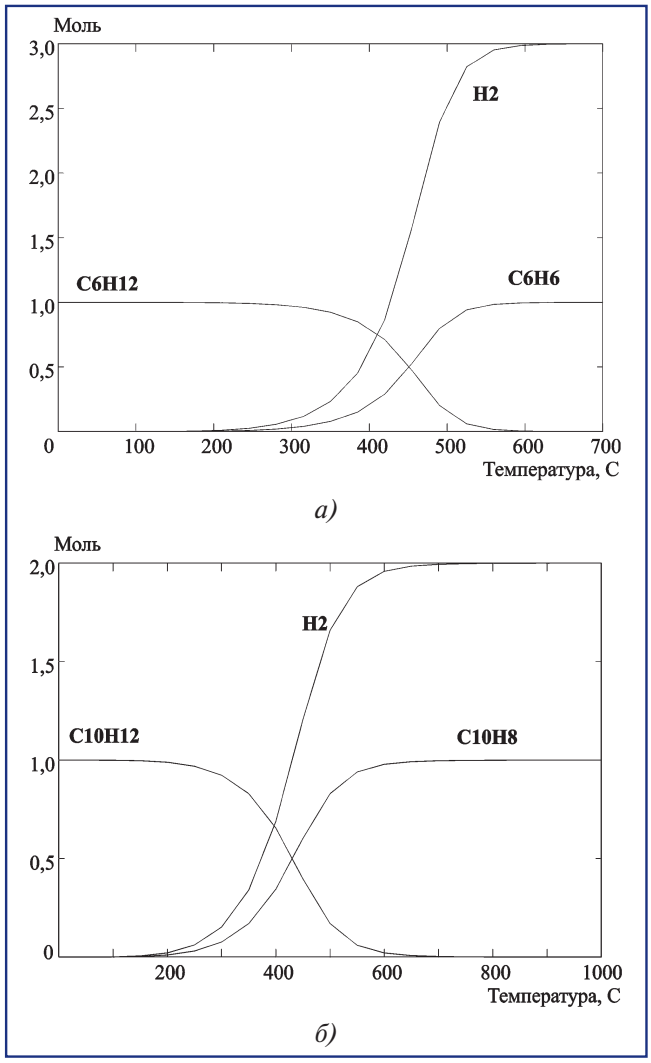


Рис. 1. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов от температуры реакции гидрирования бензола в циклогексан (а) и нафталина в 1,2,3,4-те-трагидронафталин (б) при давлении 7 МПа*

Для сравнительного анализа сначала рассмотрим реакцию гидрирования ароматических соединений в среде молекулярного водорода.

Реакционная среда – молекулярный водород. На рис. 1 приведены зависимости равновесных чисел молей компонентов реакции гидрирования бензола в циклогексан и нафталина в 1,2,3,4-тетрагидронафталин от температуры при давлении водорода 7 МПа.

На этих рисунках наглядно видны температурные области гидрирования (< 450 °С) и дегидрирования (> 450 °С) ароматических колец по реакциям

$$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}; \quad (1)$$

$$C_{10}H_8 + 2H_2 \rightarrow C_{10}H_{12}. \quad (2)$$

Реакционная среда H_2S. В реакциях гидрирования ароматических колец в присутствии серосодержащих катализаторов молекула H_2S более реакционноспособна, чем молекула H_2. Это обусловлено тем, что энергия разрыва связи H–S (379,5 кДж/моль) меньше, чем связи H–H (432,05 кДж/моль):

$$C_6H_6 + 3H_2S \rightarrow C_6H_{12} + 3S; \quad (3)$$

$$C_{10}H_8 + 2H_2S \rightarrow C_{10}H_{12} + 2S. \quad (4)$$

При наличии в реакционной среде избытка водорода сера снова превращается в H_2S. То есть в присутствии молекулярного водорода H_2S выступает в роли переносчика водорода, повышает степень гидрирования.

Присоединение одной молекулы H_2 (H_2S) к молекуле бензола приводит к нарушению π-электронного сопряжения и в первом приближении моделирует структуру активного комплекса. На рис. 2 квантово-химическим методом функционала плотности B3LYP, в базисе 6-311G с оптимизацией геометрии, приведены резуль-

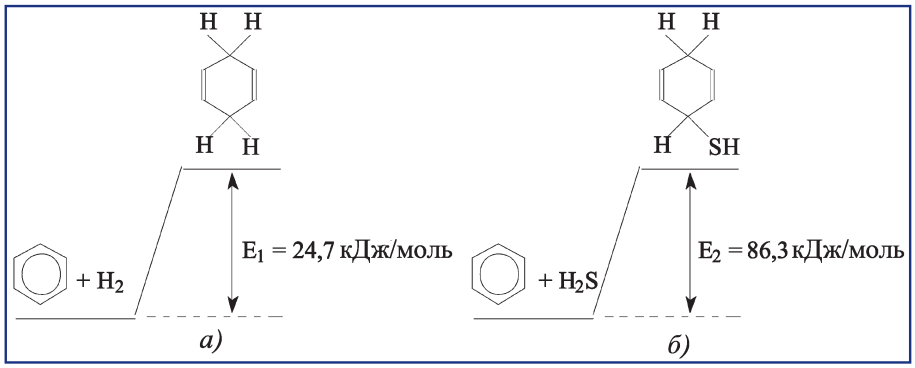


Рис. 2. *Энергии активации реакций присоединения одной молекулы H_2 и H_2S к молекуле бензола*

таты расчетов энергии активации соответствующих реакций по формулам

$$E_1 = E\{C_6H_6(H_2)\} - \{E(C_6H_6) + E(H_2)\}; \quad (5)$$

$$E_2 = E\{C_6H_6(H_2S)\} - \{E(C_6H_6) + E(H_2S)\}. \quad (6)$$

Как видно из приведенных данных, реакция термического присоединения H_2 к бензолу должна идти быстрее, чем присоединения H_2S. Однако в случае каталитических реакций ситуация может измениться.

На рис. 3 приведены зависимости равновесных чисел молей компонентов от температуры реакции сероводорода с бензолом (*а*) и нафталином (*б*) при давлении 7 МПа. Откуда следует, что

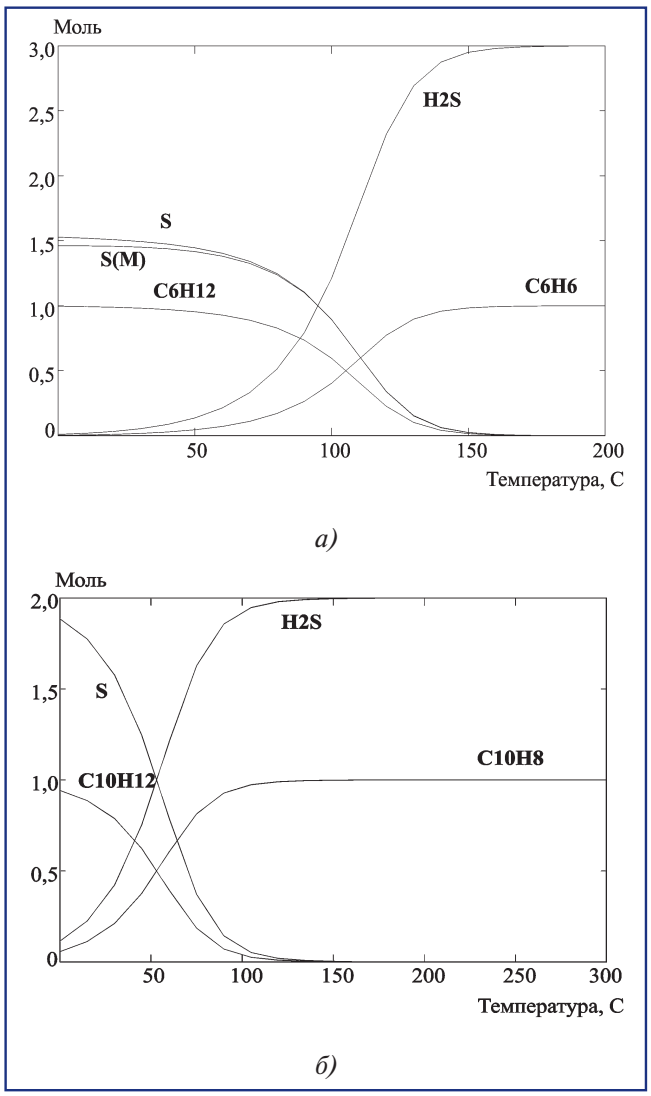


Рис. 3. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов реакций сероводорода с бензолом (а) и нафталином (б) при давлении 7 МПа от температуры*

сероводород гидрирует бензол при температуре < 110 °С, а нафталин – при температуре < 50 °С. Образование элементной серы в продуктах реакции на первый взгляд кажется нежелательным, так как она является "ядом" для катализатора. Однако, как уже было отмечено, при избытке водорода в реакционной среде элементная сера превращается в сероводород, кроме того, при применении предварительно осерненных катализаторов она особую опасность не несет.

Реакционная среда NH_3 (NH_4OH). Энергия разрыва связи N–H в аммиаке составляет 438±8 кДж/моль [5]. Энергия активации некаталитического разложения NH_3 составляет ~320 кДж/моль, а в присутствии катализатора Pt ~150 кДж/моль, что обеспечивает ускорение протекания каталитической реакции по сравнению с некаталитической [6]. На практике аммиак синтезируется на железном катализаторе, активированном оксидами различных металлов, например K_2O, $A1_2O_3$ и CaO по реакции

$$N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3 \quad (7)$$

при температуре ≈500 °С и давлении ≈30 МПа, а реакция разложения – на Pt катализаторе.

Реакции термического разложения аммиака и гидроксила аммония

$$NH_3 \rightarrow 1/2\,N_2 + 3/2H_2; \quad (8)$$

$$NH_4OH \rightarrow H_2O + 1/2\,N_2 + 3/2H_2 \quad (9)$$

протекают при низких температурах. На рис. 4 приведены температурные зависимости чисел молей компонентов реакций термического разложения NH_3 и NH_4OH при давлении 7 МПа. Согласно приведенным данным при температуре гидрогенизации (450 °С) конверсия NH_3 и NH_4OH составляет ≈70 %.

На рис. 5 приведены зависимость равновесных чисел молей компонентов реакции аммиака с бензолом и нафталином от температуры. Реакции идут по схемам

$$C_6H_6 + NH_3 \leftrightarrow C_6H_{12} + N_2; \quad (10)$$

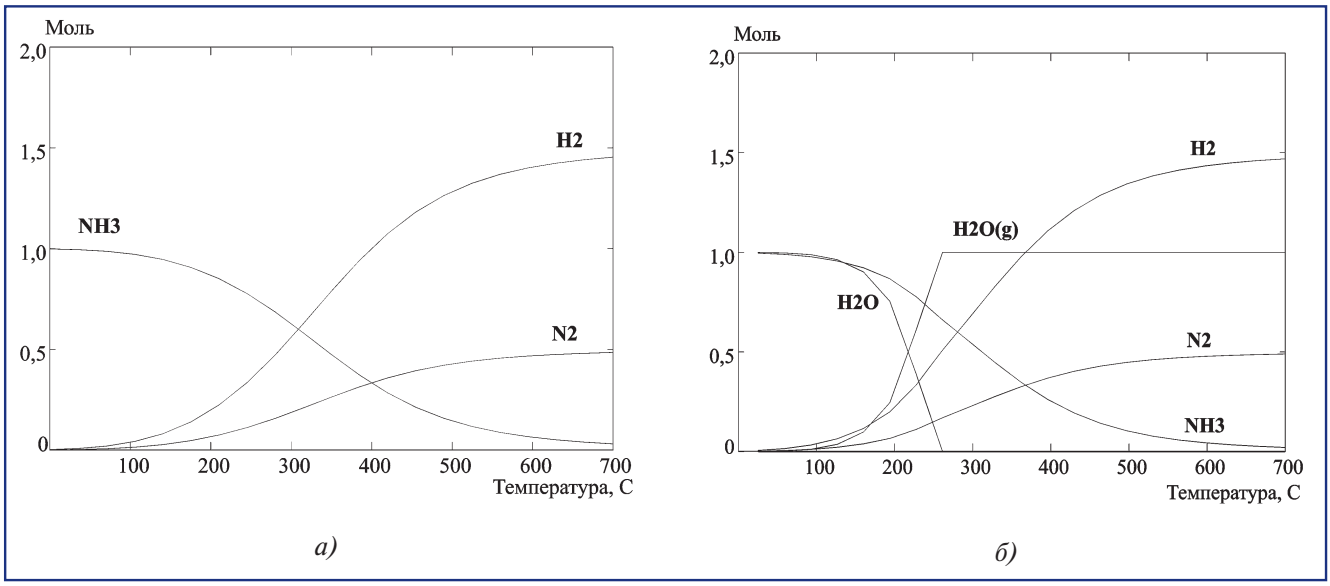


Рис. 4. *Температурная зависимость равновесного состава реакций термического разложения NH_3 (а) и NH_4OH (б) при давлении 7 МПа*

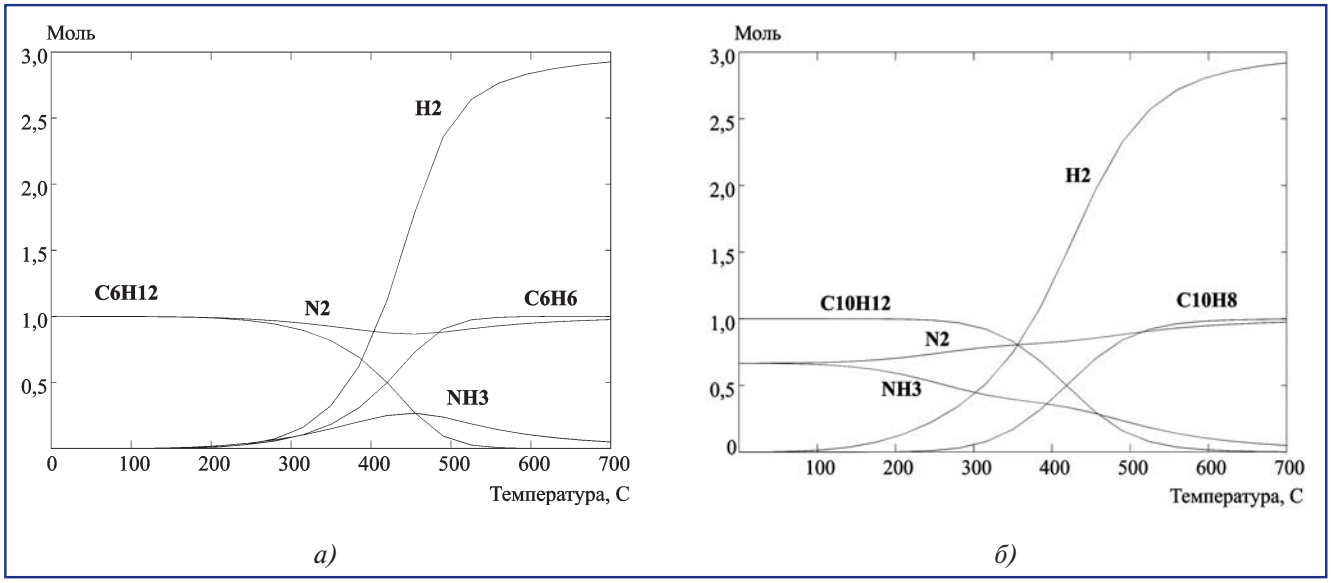


Рис. 5. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов реакции аммиака с бензолом (а) и нафталином (б) от температуры при давлении 7 МПа*

$$C_{10}H_8 + NH_3 \leftrightarrow C_{10}H_{12} + N_2 + H_2. \quad (11)$$

Согласно данным рис. 5 в среде аммиака реакция гидрирование ароматических колец протекает в температурной области ниже ≈420 °С, а дегидрирование – при температуре выше ≈420 °С. В продуктах реакции образуется молекулярный азот, который инертен в условиях гидрогенизации. Однако сам аммиак при наличии в реакционной среде неорганических соединений может образовать различные соли.

В случае гидроксида аммония реакция гидрирование бензола протекает при относительно низкой температуре (<400 °С) по сравнению с гидрированием аммиака (рис. 6).

Реакционная среда $CO + H_2O$**.** Реакция оксида углерода с водой экзотермическая и ее тепловой эффект от температуры зависит незначительно

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2; \quad (12)$$
$$\Delta H^0_{298} = -41{,}13 \text{ кДж / моль}.$$

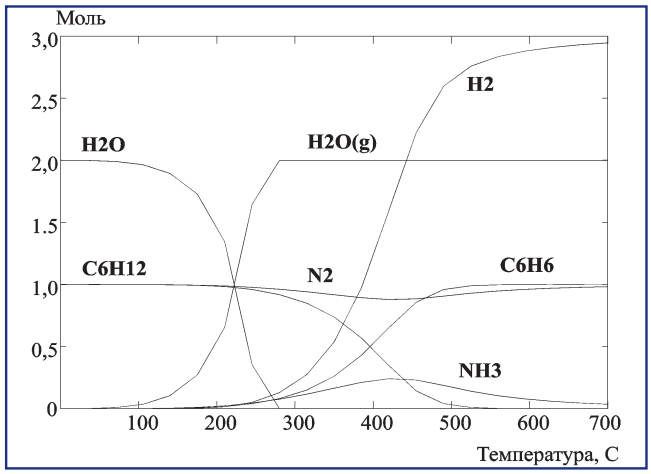


Рис. 6. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов реакции гидрирования гидроксида аммония с бензолом от температуры при давлении 7 МПа*

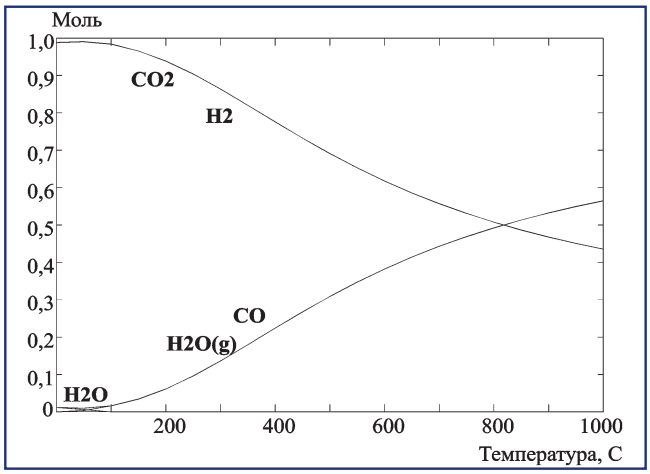


Рис. 7. *Температурная зависимость равновесного состава реакции* $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ *при* $P = 7$ *МПа*

На рис. 7 представлена зависимость равновесного состава реакции (12) от температуры, откуда следует, что с понижением температуры выход водорода увеличивается. Согласно рис. 8, *а* и *б* в среде $CO + H_2O$ протекание реакций гидрирования бензола в циклогексан и нафталина в тетралин термодинамически благоприятны также при низких температурах.

Отметим, что при наличии в реакционной среде CO, H_2O и H_2 в присутствии олефинов и соответствующих катализаторов могут идти различные реакции с образованием кислородсодержащих соединений, например: присоединение оксида углерода и водорода с образованием альдегидов (оксосинтез), оксида углерода и воды с образованием кислот (гидрокарбонилирование)

$$CH_3CH = CH_2 + CO + H_2 \leftrightarrow \leftrightarrow CH_3CH_2CH_2CHO\,; \qquad (13)$$

$$CH_3CH = CH_2 + {}^{\text{Температура, °C}} \rightarrow \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH\,. \qquad (14)$$

Среда метан + водяной пар. В промышленности для получения водорода широко применяется реакция взаимодействия метана с водяным паром при температуре около 400 °С, давлении 2...3 МПа, в присутствии алюмоникелевого катализатора по реакции

$$CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO\,. \qquad (15)$$

На рис. 9, *а* приведена зависимость равновесных чисел молей компонентов реакции (13) от

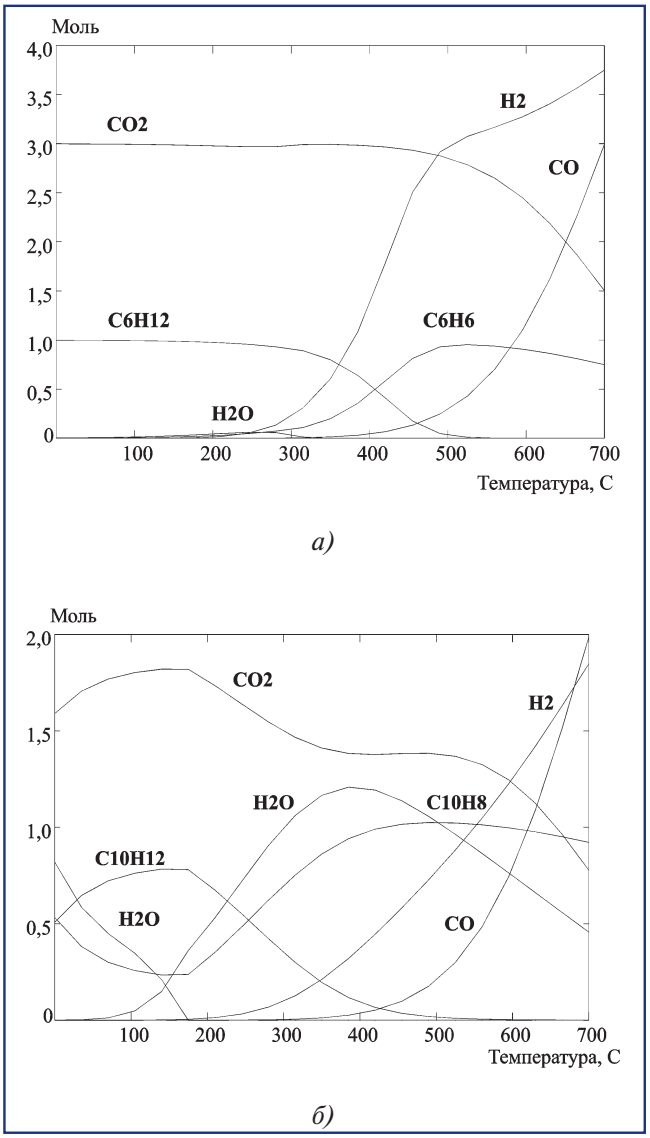


Рис. 8. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов реакции* $CO + H_2O$ *с бензолом (а) и нафталином (б) от температуры при давлении 7 МПа*

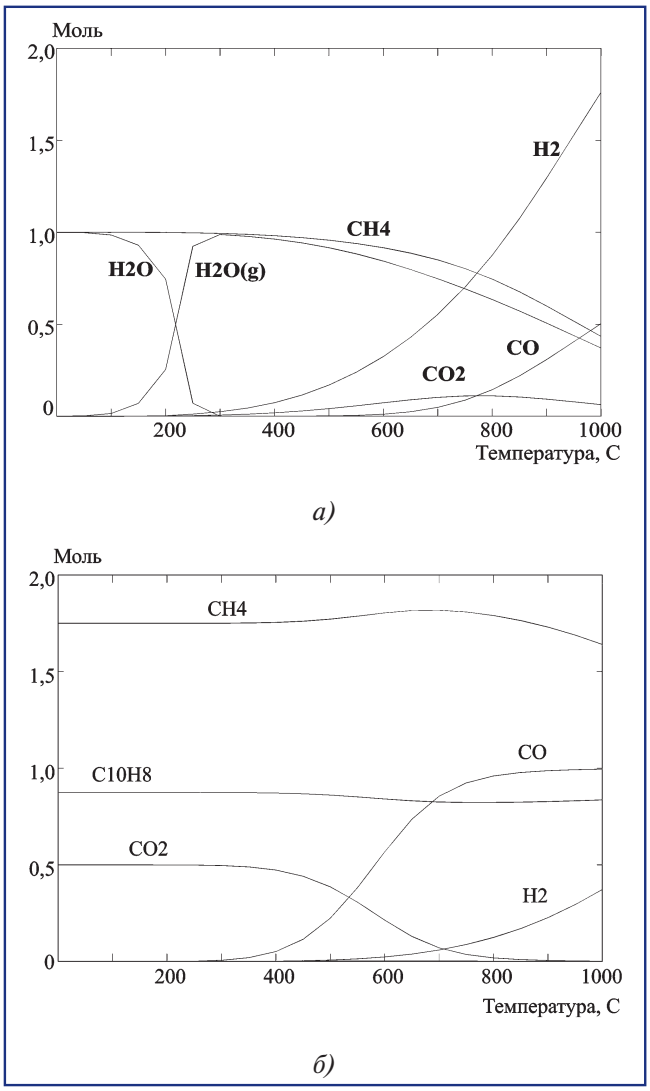


Рис. 9. *Зависимость равновесных чисел молей компонентов реакций метана с водяным паром (а) и* $CH_4 + H_2O + C_{10}H_8 =$ *продукты (б) от температуры при давлении 7 МПа*

температуры при давлении 7 МПа. Как видно из рисунка, в условиях гидрогенизации тяжелых нефтяных остатков (450 °С, 7 МПа) выход водорода по реакции (13) незначителен. Следовательно, среда $CH_4 + H_2O$ в условиях гидрогенизации должна быть малоэффективной. Действительно, согласно рис. 9, *б* реакция гидрирования нафталина в тетралин по схеме

$$CH_4 + H_2O + C_{10}H_8 \leftrightarrow \leftrightarrow [CO;\ CO_2;\ C_{10}H_{12};\ H_2] \qquad (16)$$

не идет, а часть нафталина разлагается и превращается в метан и в оксиды углерода.

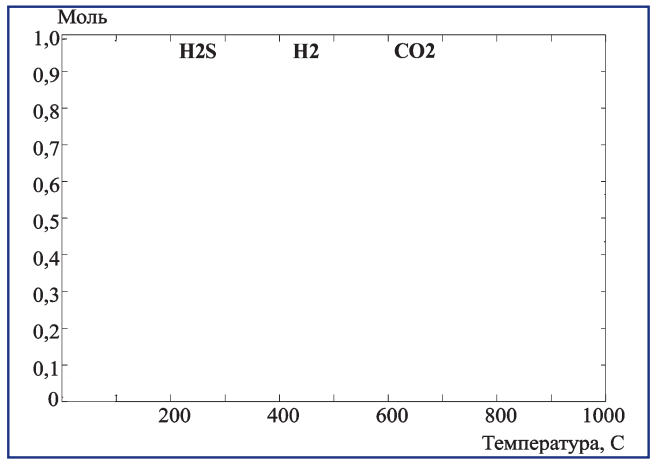


Рис. 10. *Зависимость равновесного состава реакции (17) от температуры*

Интересно отметить, что во всей протяженности температуры метан вступает в реакцию с диоксидом серы (рис. 10), образуя гидрирующие реагенты H_2S и H_2 по уравнению

$$CH_4 + SO_2 = CO_2 + H_2S + H_2. \qquad (17)$$

Таким образом, проведенные термодинамические исследования показывают, что кроме $CH_4 + H_2O$ все рассмотренные среды при подборе соответствующих эффективных катализаторов могут быть применены для гидрирования ароматических структур угольных легкокипящих и средних дистиллятов. При этом, с практической точки зрения, особый интерес представляют случаи $CO + H_2O$ и $CH_4 + SO_2$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кричко А.А., Малолетнев А.С., Хаджиев С.Н.** // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 1994. Т. XXXVIII. № 5. С. 100.

2. **Кричко А.А., Нефедов Б.К., Ландау М.В.** // Химия твердого топлива. 1990. № 2. С. 66.

3. **Гюльмалиев А.М., Каирбеков Ж.К., Малолетнев А.С., Мылтыкбаева Ж.К.** // Химия твердого топлива. 2014. № 5. С. 14.

4. **Каирбеков Ж.К., Аубакиров Е.А., Емельянова В.С. Мылтыкбаева Ж.К.** // Вестник Казахского национального университета им. Аль-Фараби. 2012. № 4 (68). С. 3.

5. **Энергия** разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону (справочник): под редакцией В.Н. Кондратьева, М.: Наука, 1974. 351 с.

6. **Малина И.К.** Развитие исследований в области синтеза аммиака. М.: Химия, 1973. 278 с.

МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА РАЗРУШЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО БАЛЛОНА ДЛЯ ПРИРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ГАЗА

С.П. Яковлева, зав. отделом материаловедения, д-р техн. наук, профессор,
С.Н. Махарова, вед. науч. сотрудник, канд. техн. наук,
П.Г. Мордовской, мл. научный сотрудник, **Е.С. Оконешникова,** ведущий инженер,
Г.М. Корнильева, ведущий инженер, **А.В. Птицына,** ведущий инженер
Институт физико-технических проблем им. В.П. Ларионова (Сибирского отделения РАН)

Основание для выполнения работы: аварийный разрыв автомобильного металлопластикового газового баллона марки БА-97-20-322/1470 для природного компримированного топливного газа; баллон был установлен на автобусе ЛиАЗ-5256-57, № 21967, эксплуатирующемся в МУП "ЯПАК".

Объекты исследования: Пять фрагментов внутренней металлической оболочки (лейнера) разрушившегося автомобильного газового баллона, состоявшего из внутренней металлической и наружной стеклопластиковой оболочек (четыре осколка верхней части и нижняя часть).

Ключевые слова: автомобильный газовый баллон, зимняя эксплуатация, оскольчатое разрушение, легированная сталь, стеклопластиковый композит, механические свойства, микроструктура, концентратор напряжений, повреждаемость, фрактография, усталостная трещина.

SWIMMING EXPERTISE DESTRUCTION OF THE MOTOR CYLINDER FOR NATURAL GAS

Yakovlev S.P., head Department of material science, Dr. techn. sciences, Professor,
Maharova S.N., the vdas. researcher. fellow, Cand. techn. sciences,
Mordovskoy P.G., Jr. research scientist, **Okoneshnikova E.S.,** lead engineer,
Korniljeva G.M., leading engineer, **Ptitsina A.V.,** leading engineer The Institute of physical and technical problems of Siberian Branch Larionova V.P. Russian Academy of sciences

Foundation for the execution of the work: emergency road metal plastic gas cylinder gap brand BA-97-20-322/1470 for natural compressed gas; the cylinder was installed on the buses Liaz-5256-57, № 21967, bearing the MUP YAPAK.

Objects of study: Five fragments of the internal metal casing (lejnera) which was destroyed gas cylinder motor of internal and external metal fibre membranes (four fragments upper and lower part).

Keywords: car gas tank, winter maintenance, oskolchatoe, alloy steel, fiberglass composite, mechanical properties, microstructure, hub stresses as harming, radiography, the fatigue crack.

Содержание исследований

Проведено визуальное обследование всех фрагментов баллона в соответствии с общими стандартными рекомендациями. Выявлены особенности макростроения изломов, общая картина разрушения баллона, повреждения на его внутренней и наружной поверхностях, выбраны наиболее целесообразные участки вырезки образцов для дальнейших исследований. Определены химический состав, механические свойства, структура и микротвердость металла для выявления соответствия металла стандартным требованиям. Оценены деформационные изменения геометрических параметров – замерены окружность и толщина стенки баллона в ее различных участках. Установлена очаговая зона, исследованы особенности излома, микромеханизмы и природа начального разрушения, а также заключительного катастрофического разрыва баллона.

В работе использованы методы визуального анализа, металлографии (для выявления микроструктуры металла), спектрального анализа (для

выявления химического состава металла), микрорентгеноспектрального анализа (для исследования микрораспределения химических элементов), фрактографии (для анализа особенностей строения изломов и микромеханизмов разрушения), испытаний на растяжение (для определения механических свойств), толщинометрии (для выявления уровня утонения стенки баллона), микроиндентирования (для оценки микротвердости).

Использованная аппаратура: спектрометр "Foundry-master UVR"; металлографические микроскопы "Neophot-32" и "Axio Observer D1m"; стереомикроскопы Альтами ПСО745-Т и "Stemi 2000C"; растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6480LV, универсальная электромеханическая испытательная машина "ZWICK/ROELL Z600", микротвердомер ПМТ-3М, ультразвуковой толщиномер ТУЗ-2, рентгеновский дифрактометр D8Discover (Bruker AXS GmbH).

Работа выполнена по заказу МУП "ЯПАК".

Исполнитель: ФГБУН ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН), отдел материаловедения, лаборатория разрушающих и других видов испытаний.

Заключение. Внутренняя металлическая оболочка (лейнер) разрушившегося автомобильного газового баллона БА-97-20-322/1470, № 040, партия № 002 (изготовлен в июне 2008 г. ОАО "Орский машиностроительный завод") выполнена из стали, соответствующей нормативным документам. Основная причина разрыва баллона – наличие на лейнере протяженного дефекта доэксплуатационного происхождения, состоящего из двух частично налагающихся друг на друга механических повреждений размерами до 68×7 мм и 62×7 мм, наклоненных под разными углами к поверхности лейнера.

Данный дефект:

а) привел к местному ослаблению стенки лейнера (утонение составило ≈2,5 мм или почти 42 % от расчетной толщины 6 мм);

б) усложнил условия обеспечения монолитности соединения лейнера со стеклопластиковой оболочкой при ее намотке;

в) явился концентратором напряжений;

г) стал очаговой зоной образования усталостных трещин.

1. Исходные данные и материалы

Письмо из муниципального унитарного предприятия "Якутская пассажирская автотранспортная компания" (МУП "ЯПАК") от 26.02.2013 г. за № 152 о необходимости проведения экспертизы металла газового баллона марки БА-97-20-322/1470, подписанное директором МУП "ЯПАК" Е.Н. Фастом; получено институтом 26 февраля 2013 г., вх. № 103/2154.

Письмо из МУП "Якутская пассажирская автотранспортная компания" от 05.03.2013 г. за № 168 о предоставлении копий следующих документов:

протокола технического совещания по факту разрушения газового баллона от 26.02.2013 г.;

акта служебного расследования по факту разрушения газового баллона от 26.02.2013 г.;

паспорта на баллон БА-97-20-322/1470;

паспорта транспортного средства;

путевого листа от 21.02.2013 г.;

объяснения водителя В.Р. Мендярова от 22.02. 2013 г.;

объяснения от дежурного водителя Ю.Г. Мерзлова от 22.02.2013 г.

Пять фрагментов внутренней металлической оболочки (лейнера) разрушившегося металлопластикового автомобильного газового баллона: четыре фрагмента верхней части и нижняя часть (рис. 1, 2).

По паспортным данным разрушившийся автомобильный баллон для природного топливного компримированного газа (метана), используемого в двигателях внутреннего сгорания по ГОСТ 27577–2000, относится к металлопластиковым и имеет обозначение БА-97-20-322/1470; № 040; партия № 002. Дата изготовления – июнь 2008 г. Изготовитель: ОАО "Орский машиностроительный завод". Габаритные размеры: длина 1470 мм, диаметр 322 мм, вместимость 97,2 л, масса 79,6 кг. Рабочее давление 20,0 МПа, пробное давление 30,0 МПа. Температура окружаю-

Рис. 1. *Фрагменты разрушившегося металлического лейнера:*
а – осколки верхней части; *б* – нижняя часть.
Вид снаружи

щей среды при эксплуатации: от –45 до +65 °С. Баллон установлен 14.08.2009 г. на автотранспортное средство ЛиАЗ-5256-57 № 21967 ООО "ДВС-эко", номер лицензии № 0173611. Освидетельствование баллона проведено 13.12.2012 г. ООО "САГС".

Краткое описание обстоятельств разрушения автомобильного баллона. Разрушившийся автомобильный баллон для природного топливного газа, установленный в кассете из 4 баллонов такой же марки на крыше автобуса ЛиАЗ-5256-57, был заправлен газом 21.02. 2013 г. в 20 час 13 мин (151,57 л газа при давлении 200 кг/см^2). Сразу после заправки автобус, проехав расстояние 2 км, был поставлен в теплый гараж на территории ЯПАК. Никаких отклонений в работе газового оборудования не наблюдалось. Разрыв баллона произошел утром 22.02.2013 г. в 5 час 20 мин и сопровождался значительными повреждениями не только питаемого автобуса, но и стоявших рядом 8 других автобусов. При служебном расследовании по факту разрыва баллона нарушений правил эксплуатации газобаллонного оборудования на предприятии не обнаружено. Рекомендовано проведение экспертизы металла в ИФТПС СО РАН.

Рис. 2. *Фрагменты разрушившегося металлического лейнера:*
а – осколки верхней части; *б* – нижняя часть.
Вид изнутри

2. Первичное обследование фрагментов разрушившегося баллона

При определении характера и причин эксплуатационных разрушений технических объектов одним из основных является анализ строения изломов. Такие характерные признаки в макростроении изломов, как ступеньки, рубцы, их высота, ориентация и схождение, месторасположение скосов, шероховатость и деформированность отдельных участков и всего излома, отражают характер действующих напряжений, наличие и степень перегрузки, расположение мест зарождения разрушения, влияние качества металла, конструктивных и технологических факторов, внешней среды, последовательность развития трещин и т.д.

На первой стадии металловедческой экспертизы по установлению природы и причин разрушения автомобильного газового баллона БА-97-20-322/1470 было проведено визуальное обследование всех фрагментов в соответствии с общими стандартными рекомендациями. Это позволило выявить особенности макростроения изломов, общую картину разрушения баллона, повреждения на его внутренней и наружной поверхностях, определить наиболее целесообразные участки вырезки образцов для дальнейших исследований.

Разрушившийся баллон изготовлен в соответствии с ГОСТ Р 51753–2001 "Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах", устанавливаемые на автомобильные транспортные средства и предназначенные для транспортирования, хранения и использования в качестве моторного топлива сжатого природного газа по ГОСТ 27577–2000. Баллон состоит из внутреннего металлического лейнера и силовой композитной оболочки, окружающей цилиндрическую поверхность лейнера, то есть относится ко 2-му типу баллонов по ГОСТ Р 51753–2001. Силовую оболочку получают путем последовательной намотки нитей стеклоровинга, сформированных в ленту и пропитанных полимерным связующим. Такая конструкция позволяет снизить удельную массу комбинированных баллонов по сравнению со стальными баллонами примерно на 50 %.

Внутренняя металлическая оболочка и наружная стеклопластиковая оболочка должны воспринимать нагрузку как единое целое, а в аварийных случаях должны разрушаться одновременно, полностью реализуя свою совместную прочность. Кроме того, наличие хорошо прилегающего стеклоэпоксидного покрытия, как правило, исключает оскольчатые разрушения металлического лейнера баллонов. В связи с этим оскольчатый тип разрыва баллона в рассматриваемом случае может указывать на то, что снижение прочности композитной оболочки на момент окончательного разрушения имело не локальный, а общий характер. На этапе предразрушения функциональные свойства силовой оболочки, оказывающей сдерживающее влияние на развивающиеся в лейнере процессы деформации, обусловили накопление в системе большого запаса упругой энергии. Тотальная потеря сплошности покрытия в определенный момент привела к мгновенному высвобождению накопленной энергии с расширением и разрывом металлического лейнера по механизму оскольчатого разрушения.

Вышеописанный характер разрушения подтверждается общим видом осколков и особенностями макростроения изломов. Рис. 3 показывает возникновение в лейнере значительных деформаций, обусловленных достижением давлений, превышающих расчетные. При этом фрагмент V нижней части баллона, сохранивший пластиковую обшивку, выглядит практически недеформированным (рис. 1, *б*); в зоне изломов макродеформации этого фрагмента минимальны (рис. 4). При значительной общей деформированности и вспученности остальных фрагментов их края достаточно хорошо стыкуются друг с другом по линиям изломов (рис. 5).

Трещин в области вентиля не выявлено.

Несмотря на то, что изломы, относящиеся к различным фрагментам, в целом неоднородны,

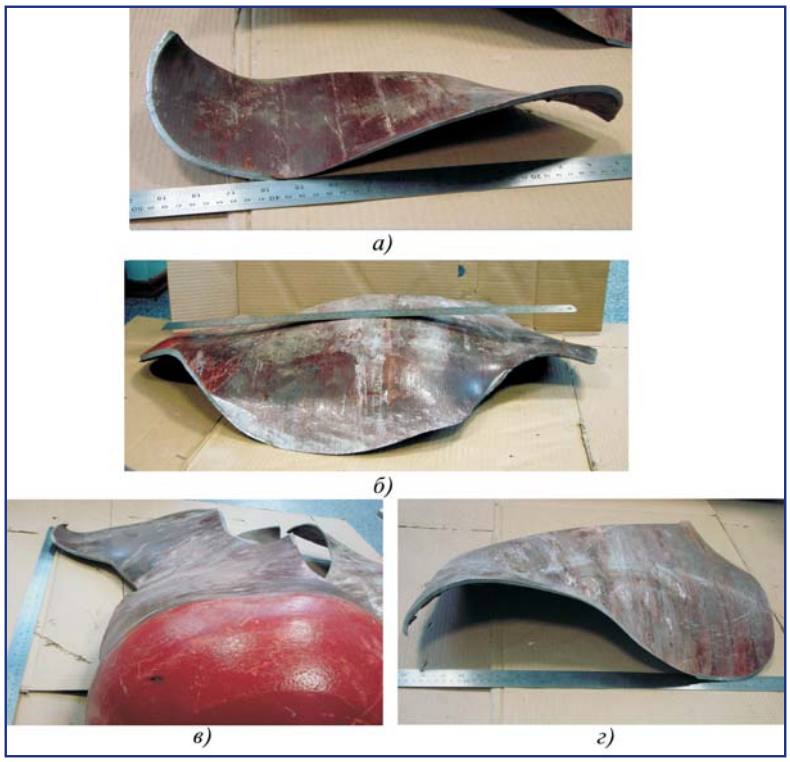


Рис. 3. Деформированность и вспучивание фрагментов

т.е. различаются по макрорельефу, по характеру ориентации (встречаются и прямые, и наклонные к поверхности баллона), поверхность изломов типична для вязкого разрушения – матовая, волокнистая, с боковыми скосами (рис. 6). Основная площадь изломов характеризуется нечеткими рубцами и строчечными неровностями, которые свойственны вязким изломам легированных сталей; эти неровности связывают с фронтом распространения трещин.

Среди локальных вмятин и выпучин, образование которых можно объяснить процессами при разрушении либо (с определенной долей вероятности) столкновениями с твердыми препятствиями при разлете осколков лейнера, было выделено протяженное механическое повреждение (ПМП) неочевидного происхождения (рис. 6, *б*), находящееся в непосредственной близости к излому.

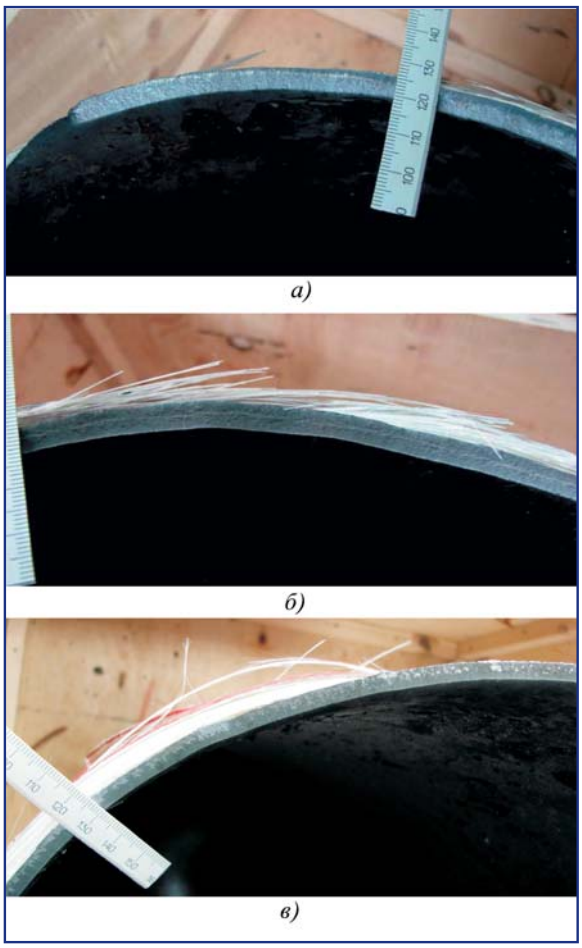


Рис. 4. Участки излома нижнего фрагмента V

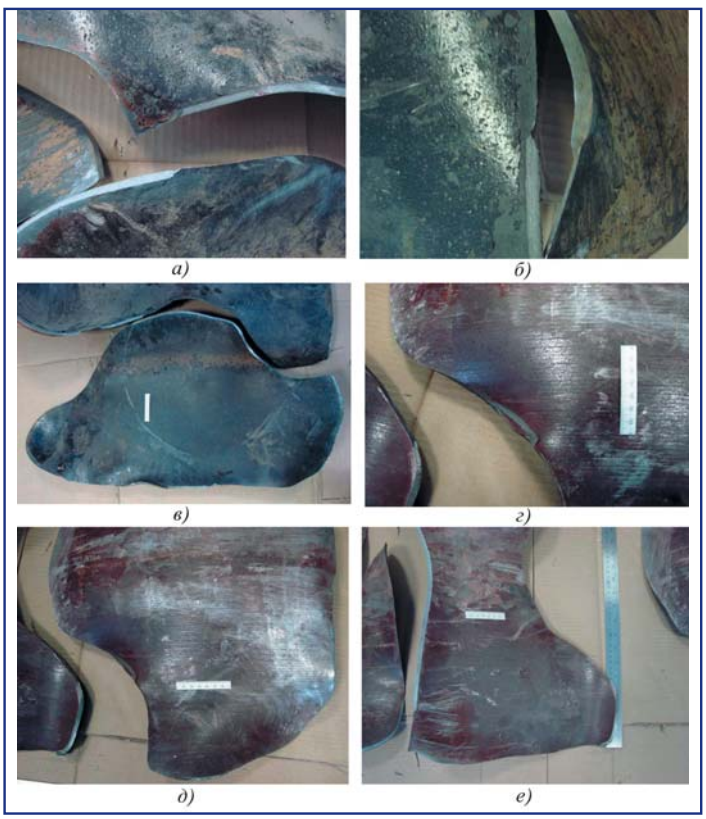


Рис. 5. Участки стыковки фрагментов по линиям изломов

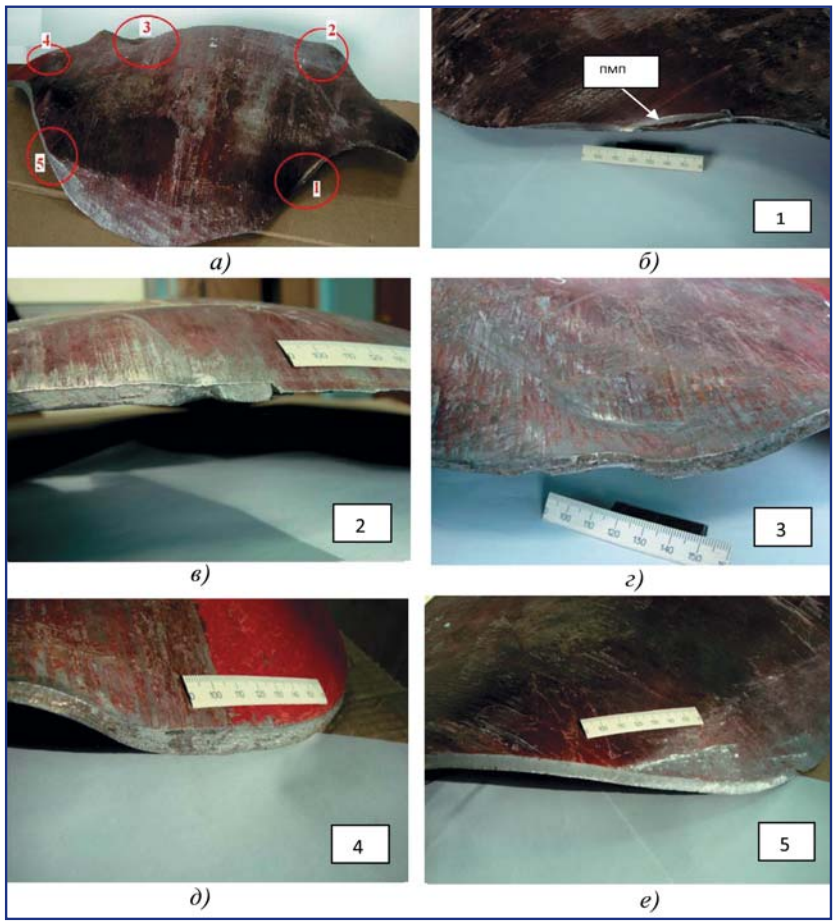


Рис. 6. Фрагмент IV (а) и вид на изломы в участках 1 –5 (б–е). Стрелкой показано протяженное механическое повреждение (ПМП) на участке 1

Поверхность прилегающего излома выглядит нетипично гладкой, имеет слабовыраженную полосчатость, ориентированную параллельно периметру стенки, и местами покрыта плотными загрязнениями.

Также следует отметить, что на внутренней поверхности баллона видны следы конденсата (рис. 7), но заметные коррозионные дефекты типа язвин и раковин отсутствуют.

Исходя из результатов первичного обследования фрагментов лейнера, для подробного металлографического и фрактографического изучения наряду с типичными участками вязкого разрушения был выбран участок *1* с ПМП (рис. 6, *а*, *б*).

3. Отбор и подготовка проб, методы исследования и аппаратура

Проведен анализ химического состава металла лейнера (далее – "лейнер" либо "баллон") в соответствии с ГОСТ 18895–97 "Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа" на спектрометре "Foundry-master UVR" (свидетельство о поверке № 7204/2446, действительно до 01 ноября 2013 г.). Среднее значение содержания химических элементов получено по результатам трех измерений.

Для определения механических свойств металла изготовлены три плоских образца с головками согласно ГОСТ 1497–14, вырезанные из недеформированного нижнего фрагмента V баллона (рис. 8). Механические испытания на статическое растяжение проведены при температуре 20 °С в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84 "Металлы. Методы испытания на растяжение" на универсальной электромеханической испытательной машине "ZWICK/ROELL Z600" (Срок поверки до 27 декабря 2013 г.).

Оценены деформационные изменения геометрических параметров – замерены окружность и толщина стенки баллона в ее различных участках (с помощью ультразвукового толщиномера ТУЗ-2).

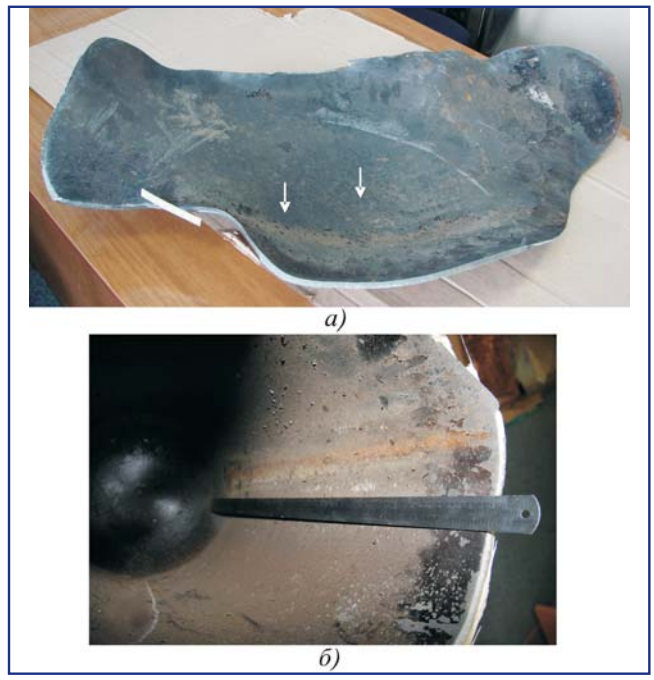


Рис. 7. Внутренняя поверхность фрагментов IV (а), V (б). Стрелками указаны следы конденсата

Рис. 8. *Место вырезки полотна для изготовления образцов для механических испытаний*

На микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,5 Н (50 г) замерена микротвердость Н50 на участке, включающем протяженное механическое повреждение.

4. Технический маркировочный анализ и микроструктура

Химический состав. В табл. 1 приведены усредненные результаты спектрального анализа металла газового баллона.

По содержанию легирующих элементов металл баллона попадает в диапазон, соответст-

На рис. 9 схематически отмечены места вырезки образцов для спектрального, фрактографического (изучение строения изломов) и металлографического анализа. Подготовлены поперечные шлифы для исследования структуры металла. Во избежание "заваливания" наружной и внутренней кромок образцов при шлифовании и полировании, все они были установлены в полые цилиндрические "державки" и залиты сплавом Вуда (рис. 9, *в*). Составляющие структуры выявляли травлением металлографического образца, полученного шлифованием на наждачной бумаге в порядке убывания зернистости и полирования алмазной пастой; состав реактива для травления – 2 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Фрактографические исследования проведены в стереоскопических микроскопах Альтами ПСО745-Т и "Stemi 2000C"; микрофрактографические – в растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV.

Исследовано микрораспределение химических элементов в структурных составляющих образцов металла труб методом микрорентгеноспектрального анализа с помощью прибора JEOL JSM-6480LV (луч диаметром ~2 мкм, K_α-излучение). Кроме того, для рентгеноструктурного анализа использован рентгеновский дифрактометр D8 Discover (Bruker AXS GmbH).

Анализ микроструктуры металла баллона проведен с помощью металлографического микроскопа "Neophot-32" и растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6480LV.

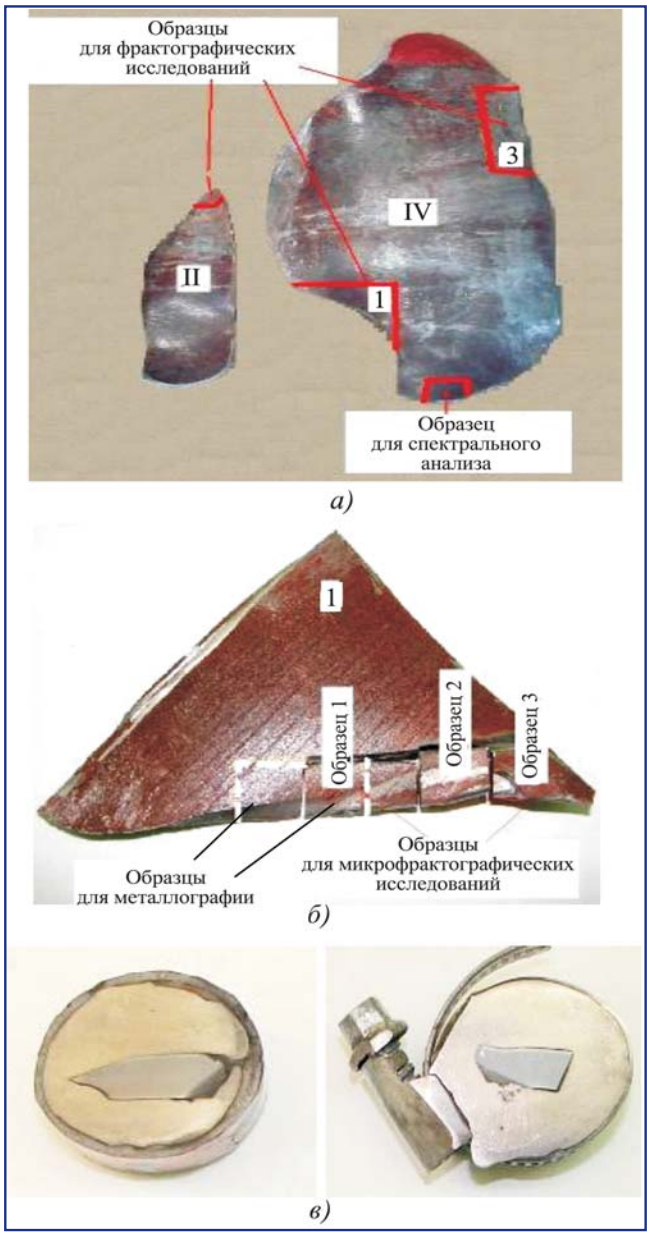


Рис. 9. *Схема вырезки образцов (а, б) и поперечные шлифы для металлографических исследований (в)*

Таблица 1

Химический состав металла баллона и Госстандарт на сталь 30ХМА

Материал	Содержание химических элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Al	Ni	P	S	Cu	Fe
Металл баллона	0,32	0,21	0,56	1,04	0,19	0,02	0,03	0,07	0,016	0,008	0,08	ост.
30ХМА ГОСТ 4543–71	0,26...0,33	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	0,15...0,25	–	–	–	≤0,025	≤0,025	–	

вующий легированной хромомолибденовой стали марки 30ХМА, как это видно из табл. 1, в которой приведен стандартный химический состав этой стали. Для более точной идентификации марки стали химический состав обычно рассматривают в комплексе с показателями механических свойств.

Микроструктура. Технология термообработки металла баллона состоит из закалки с последующим отпуском. Образовавшаяся структура представляет собой мелкодисперсную троостосорбитную смесь (рис. 10) с микротвердостью ≈2590 МПа.

Механические свойства. Диаграммы статических испытаний образцов из металла баллона показаны на рис. 11. По результатам испытаний, представленным в табл. 2 (в ней также приведены требования к прочности и пластичности стали 30ХМА по ГОСТ 4543–71), предел текучести $\sigma_т$ металла баллона удовлетворяет уровню требований к стали 30ХМА. Предел прочности $\sigma_в$ металла баллона существенно ниже стандартного значения этой характеристики для данной хромомолибденовой стали; при этом материал сохранил свои пластические свойства. Следует учитывать, что, во-первых, условия функционирования баллонов исключают возможность снижения прочностных характеристик металла при эксплуатации.

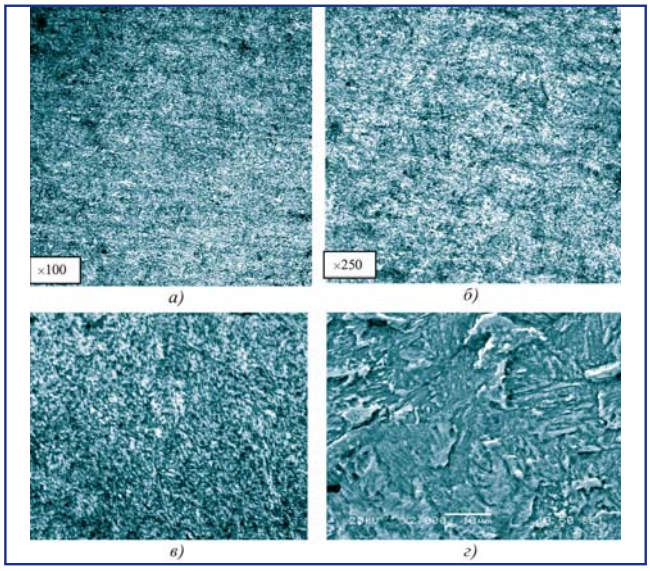


Рис. 10. *Микроструктура лейнера при различных увеличениях*

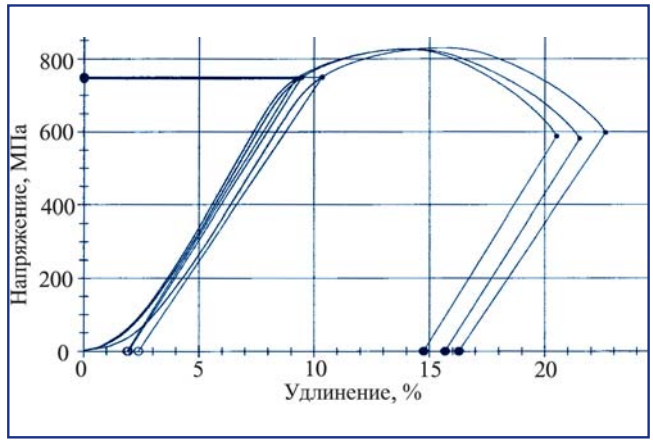


Рис. 11. *Диаграммы испытаний на растяжение образцов металла баллона*

Таблица 2

Механические свойства металла газового баллона при комнатной температуре и Госстандарт на стали 30ХМА

Материал	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ, %
Металл газового баллона	747	828	14
30ХМА ГОСТ 4543–71	Не менее 735	Не менее 930	Не менее 12

Во-вторых, если даже предположить, что та часть баллона, из которой были изготовлены образцы, претерпела при разрыве некоторую деформацию, то это должно было в соответствии с физикой и механикой деформационных процессов в металлах, привести к упрочнению, т.е. к росту пределов текучести и прочности металла баллона. В связи с этим можно полагать, что выявленные прочностные характеристики соответствуют исходным характеристикам материала баллона (т.е. состоянию поставки).

Согласно п. 4.2.2.1. ГОСТ Р 51753–2001, в соответствии с которым выполнен исследуемый баллон, для изготовления лейнеров применяют стали марок, приведенных в ПБ 10-115–96 "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением" (прил. 5, табл. 9). Кроме того, по паспортным данным, баллон соответствует ПБ 03-576–03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением". В двух последних документах указаны следующие требования к стали марки 30ХМА в зависимости от температуры эксплуатации баллонов: для условий применения в диапазоне температур не ниже – 80 °С и не выше 150 °С значения предела текучести $\sigma_т$ должны быть не менее 589 МПа, предела прочности не менее 785 МПа и не более 981 МПа. Исходя из этого, может быть сделан вывод, что металл лейнера по своему химическому составу и механическим характеристикам в целом соответствует требованиям государственного стандарта на сталь для изготовления баллонов данного типа.

5. Изменения толщины стенки в зоне механического повреждения и в результате деформации при разрушении

Как уже отмечалось, баллон при разрушении претерпел значительную пластическую деформацию, обусловившую не только появление местных вспучиваний и впадин, но и общее расширение его верхней половины.

Считается, что увеличение приращения внешнего диаметра цилиндрической части баллона более чем на 2,5 % характеризует техническое состояние стеклопластиковой оболочки перед разрушением.

Для оценки приращения диаметра исследуемого баллона замерены длины окружности его цилиндрической части в различных точках (рис. 12, *а*). Расчеты дают значение максимального приращения диаметра, равное 1,8 см, что составляет 5,6 % от начального диаметра и более чем вдвое превышает критическое для стеклопластиковой оболочки. Очевидно, что в момент разрушения силовая оболочка уже не выполняла своих функций (практически отсутствовала), и

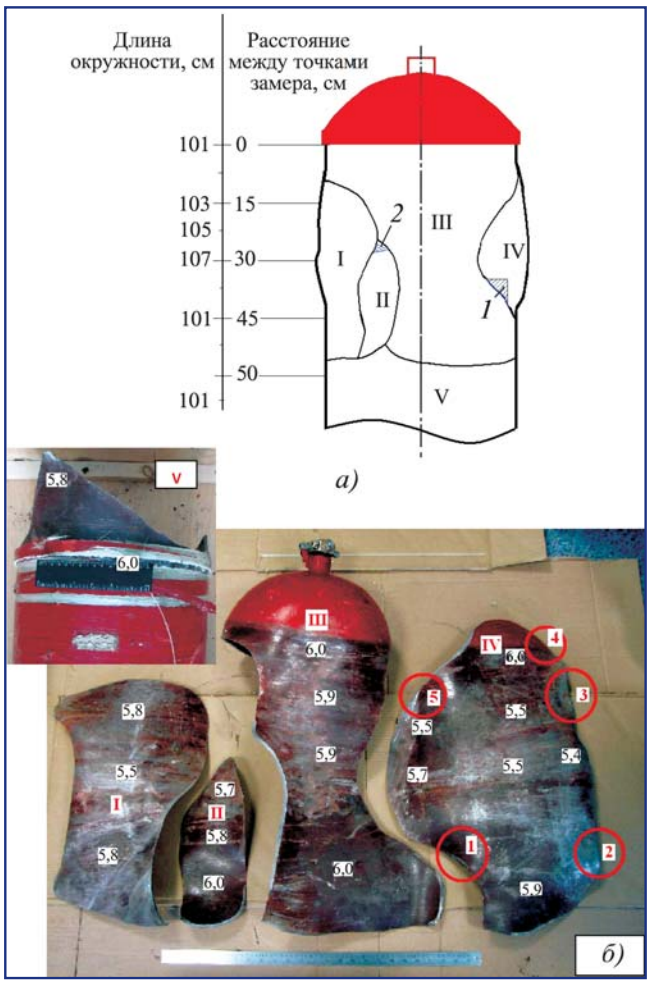


Рис. 12. *Деформационные изменения геометрии цилиндрической части лейнера в результате разрыва:*
а – уровень общего расширения (*1* и *2* – места вырезки образцов); *б* – локальные значения толщины стенки (участки *1–5* – см. рис. 6)

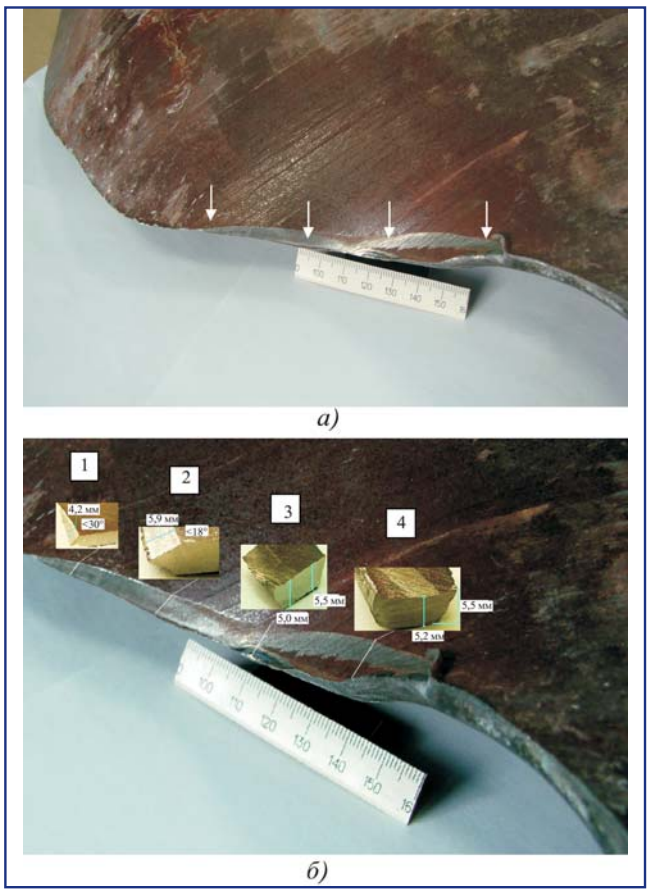


Рис. 13. *Фрагмент IV: а – участок 1 с протяженным механическим повреждением (отмечено стрелками); б – профиль стенки в зоне ПМП и излома (во врезках). Цифрами указаны локальные толщины стенки, ширина и угол наклона ПМП к поверхности*

всю нагрузку приняла на себя металлическая часть.

По результатам толщинометрии (рис. 12, *б*), минимальная толщина стенки (вне зоны с ПМП) после разрыва равна 5,4 мм.

При исходной толщине 6 мм стенка была значительно ослаблена появлением ПМП, располагающимся приблизительно под углом 45° к образующей цилиндрической части баллона. Общая длина ПМП ≈ 12...13 см, ширина ≈ 0,5... 0,7 см; площадь соответственно ≈ 6...9 см^2.

Как можно видеть на рис. 13, данное механическое повреждение состоит из двух налагающихся друг на друга участков с различной шириной и с различным наклоном по отношению к поверхности лейнера. Маловероятно возникновение повреждения такой конфигурации при разлете фрагментов после разрыва баллона.

Таблица 3

Микротвердость металла различных участков баллона

Место замера (см. рис. 15)	Микротвердость, МПа
Т. 1 (у излома)	2885
Т. 2 (край ПМП*)	4310
Т. 3 (центр ПМП)	3170
Т. 4 (край ПМП)	2860
Т. 5 (центр ПМП)	3180
В центре стенки	2595

Примечания. На данном участке хорошо заметны цвета побежалости (рис. 13, *б* и рис. 17, *а*), поэтому его повышенная твердость может быть обусловлена возникновением структур закалки.

Кроме того, характерные повреждения лакокрасочного покрытия баллона и особенности шероховатости поверхности стенки баллона в месте ПМП (рис. 14) позволяют определить это повреждение как обдир.

Замеры микротвердости на участках с ПМП (рис. 15, табл. 3) подтверждают его механическое происхождение (при деформировании твердость металлов увеличивается).

Утонение стенки лейнера в результате появления ПМП достигает ≈2,5 мм, т.е. локальная толщина его живого сечения ≈3,5 мм. С учетом того, что толщина армирующей стеклопласти-

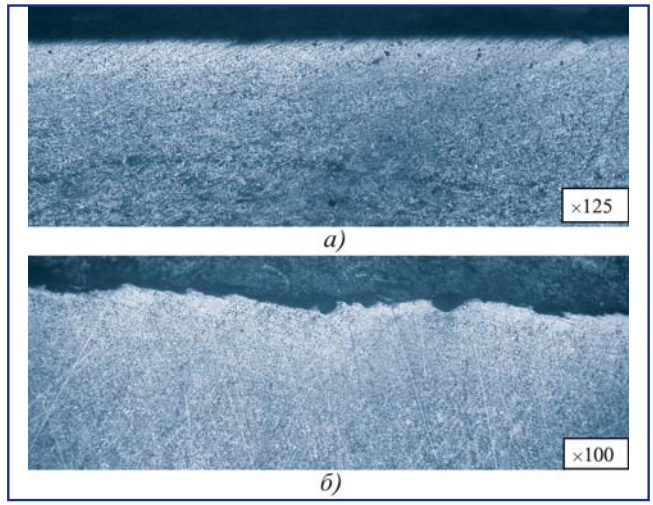


Рис. 14. *Профиль наружной поверхности лейнера:* *а* – неповрежденная стенка; *б* – стенка в месте ПМП

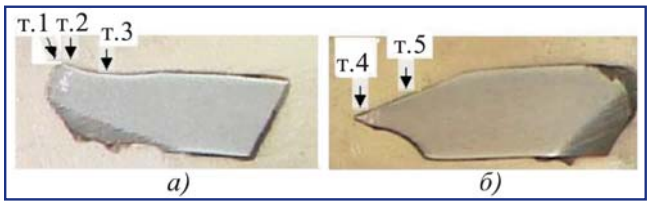


Рис. 15. *Поперечные микрошлифы в зоне расположения ПМП:*
т. 1 – место начала излома; т. 2 – край ПМП; т. 3 – центральная часть ПМП; т. 4 – край ПМП; т. 4 – центральная часть ПМП; *а* – шлиф 3 на рис. 13; *б* – шлиф 2 на рис. 13

ковой оболочки обычно составляет ≈50 % от расчетной (или равна толщине стенки лейнера), то рабочая толщина стенки конструкции в зоне ПМП была равна ≈9,5 мм. Другими словами, стенка изначально была ослаблена почти на 20 %, а в момент окончательного разрушения, когда наружная оболочка практически отсутствовала, нагрузка пришлась на конструкцию с толщиной менее 30 % от расчетной.

Исходя из вышеизложенного, ПМП следует рассматривать как концентратор напряжений, а участок *1* на фрагменте IV – как очаговую зону разрушения. Помимо концентрации напряжений, негативное влияние ПМП на общую прочность баллона связано с нарушением в этом месте монолитности соединения металла и пластиковой оболочки.

6. Исследование природы разрушения в очаговой зоне

Для подтверждения инициации разрушения в зоне ПМП проведены макро- и микрофрактографический анализы поверхности прилегающего к нему излома (рис. 16).

Как известно, баллоны для автомобильного топлива испытывают многократные циклические нагрузки высокого давления при заправке газа; кроме того, переменные нагрузки возникают при движении транспорта. Поэтому распространенной причиной разрушения баллонов является усталость металла.

Усталость металлоконструкций – процесс постепенного накопления повреждений в материале, обусловленный циклическим действием нагрузок. Особенность усталостного разрушения состоит в том, что оно может иметь длительный инкубационный период, составляющий иногда годы эксплуатации изделия, в течение которого выявление признаков приближающегося разрушения затруднительно. Одним из важнейших факторов, ускоряющих развитие усталости, является присутствие концентраторов напряжений.

Макро- и микростроение усталостных изломов имеет характерный вид, обусловленный циклическим продвижением усталостных трещин, в результате чего образуются так называемые усталостные линии и усталостные бороздки. Именно такие особенности выявлены в рельефе излома, граничащего с ПМП (рис. 17, 18).

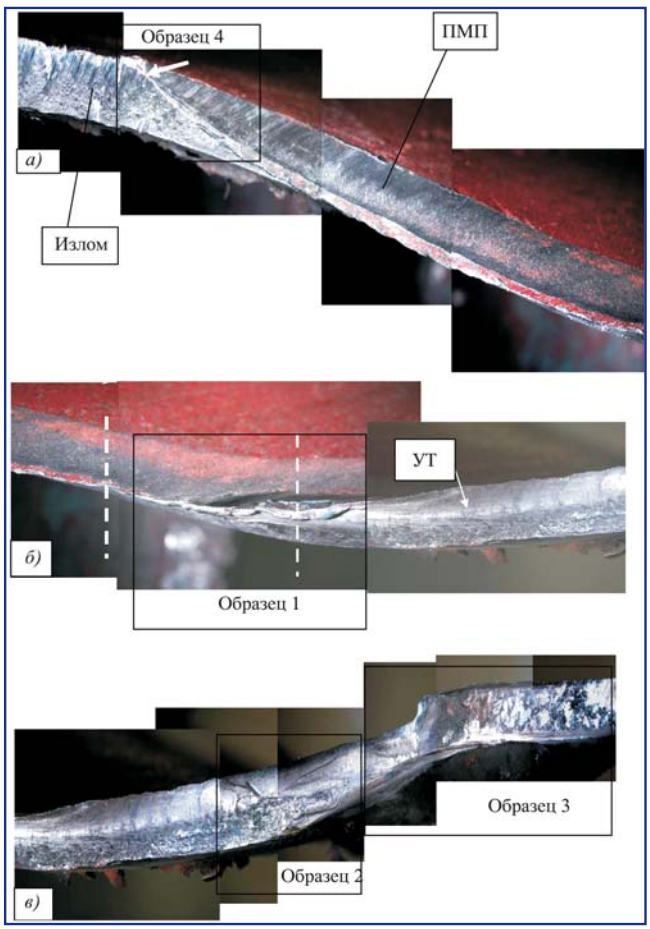


Рис. 16. *Фрагмент IV. Панорамные снимки излома на участке 1, содержащем протяженное механическое повреждение (ПМП). УТ – усталостная трещина. Прямоугольниками выделены места вырезки образцов 1–4 для микрофрактографических исследований, пунктиром – места разрезки для приготовления шлифов. Стрелкой (а) показано место прохождения трещины через ПМП*

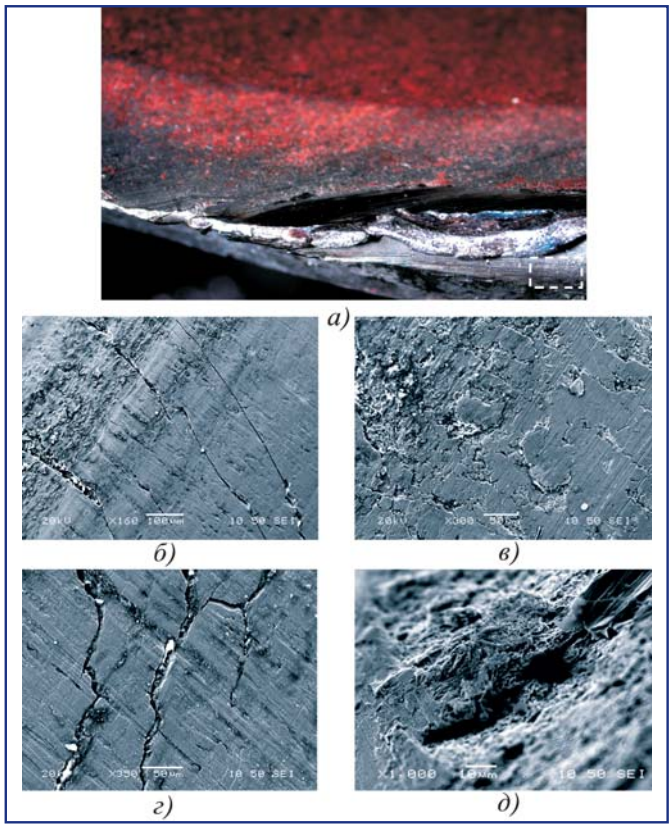


Рис. 17. Фрагмент IV. Образец 1. Поверхность излома: а – общий вид (пунктирным прямоугольником показана зона съемок в электронном микроскопе); б–д – микрофрактограммы

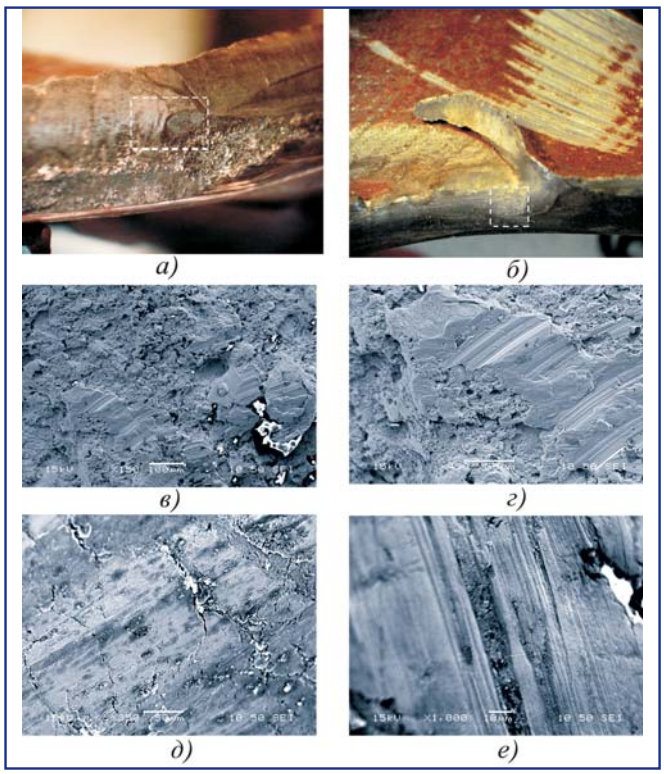


Рис. 18. Фрагмент IV. Образцы 2 и 3. Поверхности изломов образца 2 (а, в, г) и образца 3 (б, д, е). Пунктирными прямоугольниками выделены зоны съемок в электронном микроскопе

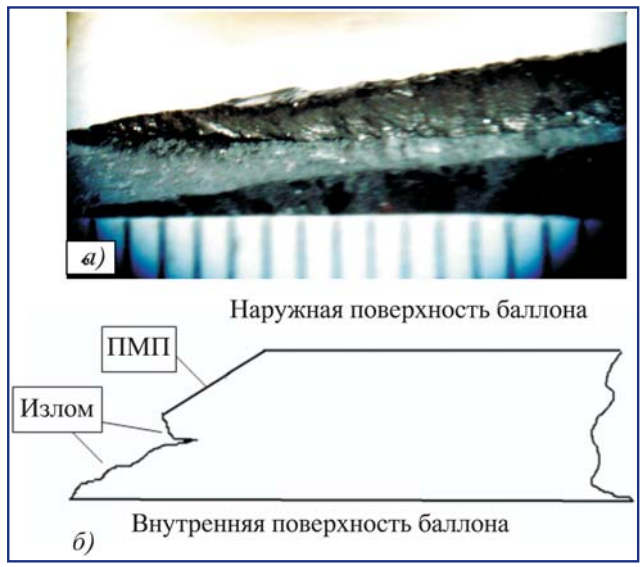


Рис. 19. Фрагмент IV. Образец 4. Область долома, образовавшаяся при прохождении трещины через ПМП: а – общий вид излома; б – схематическое изображение поперечного сечения стенки лейнера в месте прохождения трещины через ПМП

Бесспорное влияние ПМП на разрушение баллона подтверждает также рис. 19, показывающий связанное с присутствием концентратора напряжений изменение направления развития разрушения.

Факт постепенного (не одномоментного) распространения начальной трещины, ослабившей конструкцию и обусловившей в определенный момент ее катастрофическое разрушение, имеет еще одно доказательство в виде "застаре-

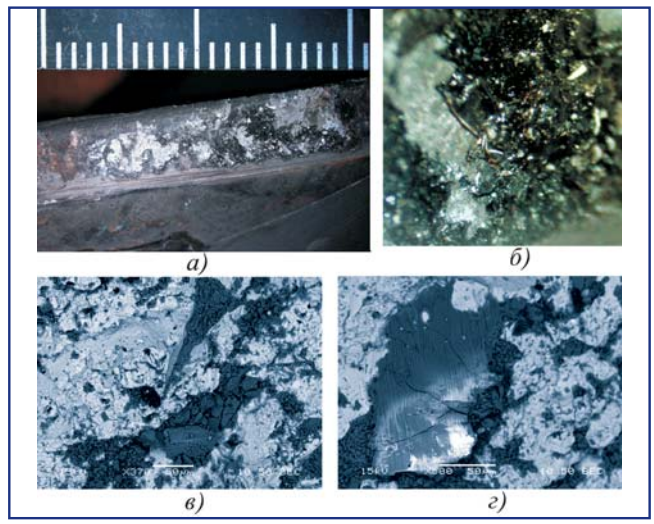
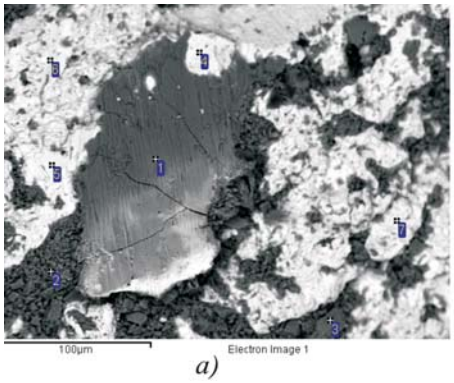
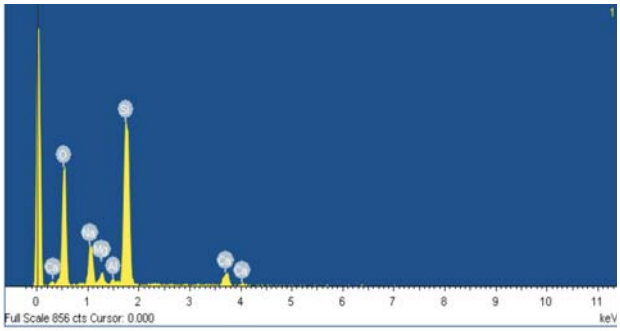


Рис. 20. Фрагмент IV. Образец 3. Загрязнения на поверхности излома



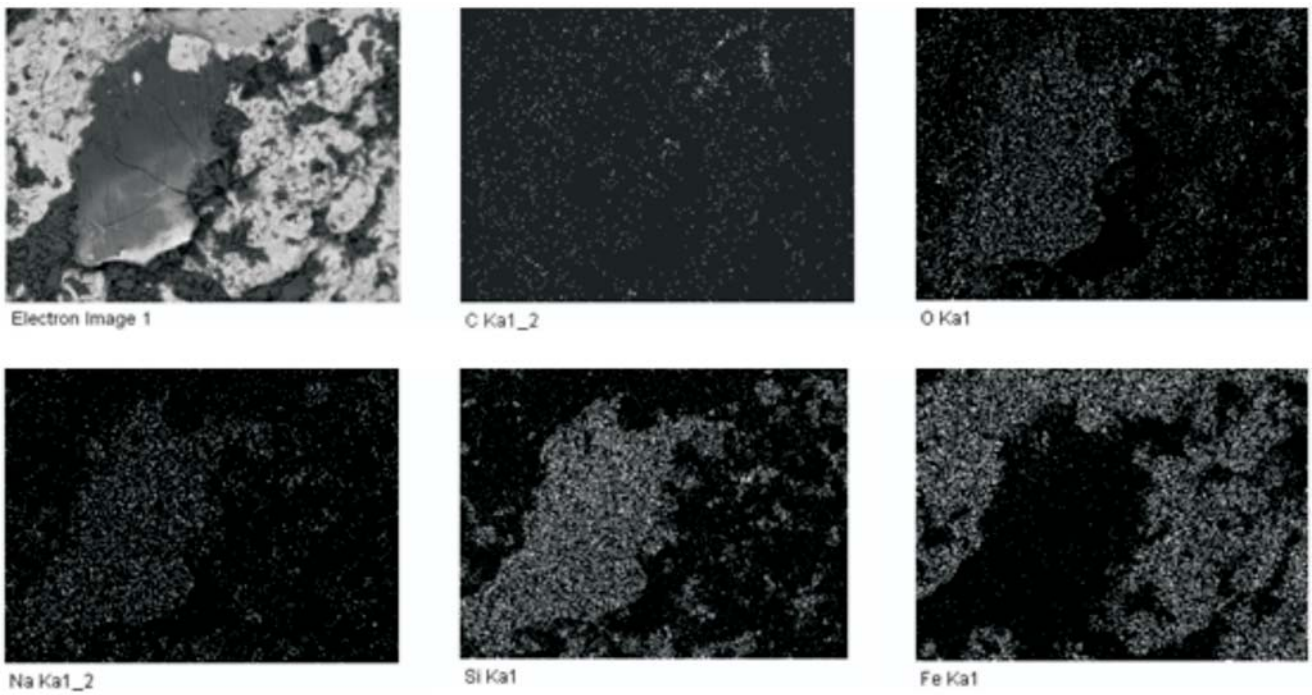
а)



б)

	In stats.	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Cr	Fe	Total
Sum Spectrum	Yes	5,79	22,71	5,75	1,06	0,36	14,13		2,42	0,40	47,38	100,00
1	Yes		50,82	9,46	1,84	0,62	31,59		5,68			100,00
2	Yes	9,44	45,65	7,71	1,82		29,65		5,73			100,00
3	Yes		45,44	9,66	2,13		36,43		6,35			100,00
4	Yes	5,58	7,65								86,77	100,00
5	Yes		53,62	9,63	2,51		27,06	0,95	4,08		2,16	100,00
6	Yes	1,92	6,67							1,34	90,06	100,00
7	Yes	1,63	4,15								94,21	100,00

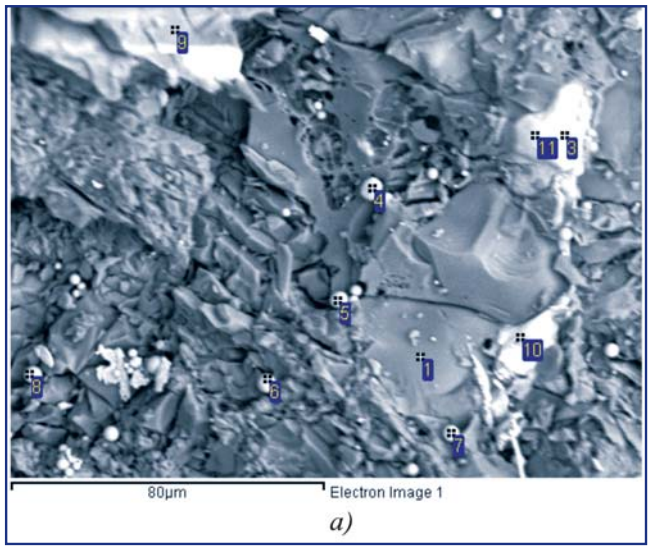
в)



г)

Рис. 21. *Фрагмент IV. Образец 3. Микрорентгеноспектральный анализ растрескавшегося загрязнения на поверхности излома: а — общий вид загрязнения с указанием точек анализа; б — пример рентгеновского спектра (т. 1); в — локальные содержания химических элементов в точках 1—7 на изображении микроструктуры; г — картирование по химическим элементам*

лых" пленочных и более плотных загрязнений на поверхности излома вблизи усталостных трещин (рис. 20). На рис. 20, *в* и 22 показаны тонкие пленочные загрязнения, претерпевшие процесс съеживания и фрагментации. Другой тип загрязнений — с относительно гладкой поверхностью,



а)

Рис. 22. *Фрагмент IV. Образец 3. Микрорентгеноспектральный анализ загрязнений на поверхности излома: а – общий вид загрязнений с указанием точек анализа; б – локальные содержания химических элементов в точках 1–11 на изображении мироструктуры*

Spectrum	In stats	C	Na	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	Total
1	Yes		16,23	3,72	0,76	70,41	7,04		1,84	100,00
3	Yes	3,06				2,71			94,23	100,00
4	Yes	7,74	2,17			7,31		0,79	81,98	100,00
5	Yes		1,56			4,70			93,74	100,00
6	Yes		5,10			12,89	1,46	0,36	80,18	100,00
7	Yes		2,43			5,37	0,65		91,55	100,00
8	Yes	3,77				4,33		2,09	89,81	100,00
9	Yes		11,90	2,96	1,62	71,55	7,35	0,48	4,14	100,00
10	Yes	17,39				2,25		0,96	79,40	100,00
11	Yes	6,08			0,61	2,23		1,02	90,06	100,00

б)

более хрупких и испытавших растрескивание, представлен на рис. 20, *г* и рис. 21.

Как видно по изображениям структуры, по данным микроанализа и по результатам расшифровки дифрактограмм (рис. 23), оба типа загрязнений располагаются совместно, а по составу их можно отнести к шлакам, состоящим из окислов железа и различных сложных оксидов, включающих такие элементы, как Ca, Mg, Na, Si и т.д. (CaO, MgO, SiO_2, Na_2O, FeO, Fe_3O_4). В

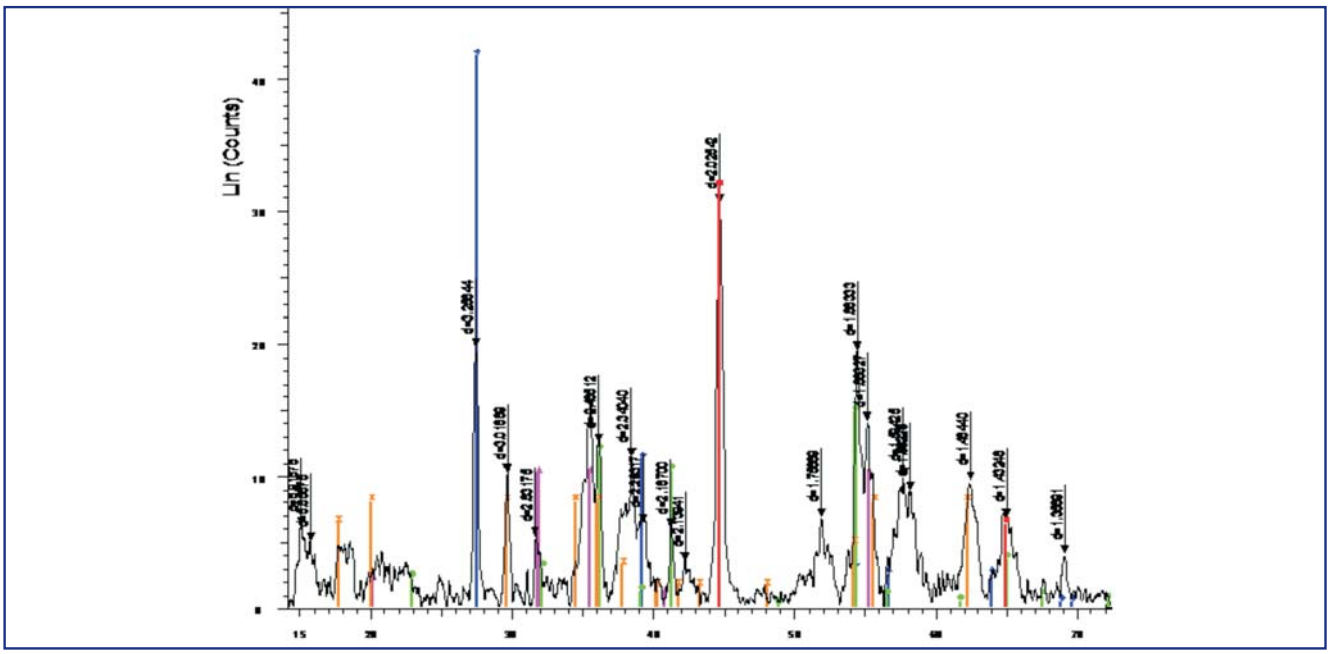


Рис. 23. *Дифрактограмма участка с загрязнениями*

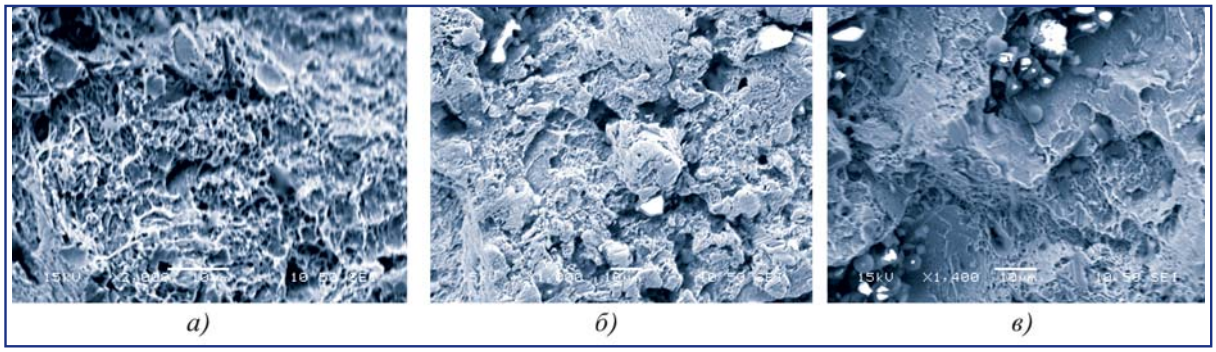


Рис. 24. *Типичное микростроение поверхностей изломов, образовавшихся при одномоментном разрушении баллона (разрыве)*

плотных загрязнениях обнаруживается алюминий, что дает основание предполагать присутствие в них оксида алюминия.

Усталостный механизм разрушения металла в зоне ПМП, а также морфологические особенности, взаимное расположение и достаточно прочное сцепление с поверхностью излома выявленных в данной области загрязнений, свидетельствуют об имевшейся к началу окончательного разрыва трещине, обусловившей снижение конструктивной прочности баллона. Тем не менее, механические свойства металла баллона обеспечили его значительную деформацию и расширение до наступления окончательного разрушения; основной микромеханизм окончательного разрушения – вязкий ямочный излом (рис. 24).

7. Кинетика процесса разрушения баллона

Известно, что в композитных металлопластиковых конструкциях эксплуатационные разрушения начинаются преимущественно с отслоений в зонах соединения металла с композитом. Как уже отмечалось, в исследуемом баллоне на участке стенки с наклонным механическим повреждением изначально имелись погрешности в сплошности контакта между пластиком и металлом.

При длительной эксплуатации металлопластиковых конструкций в результате циклического нагружения, перепадов температур и других факторов, в пластиковой оболочке накапливаются повреждения, приводящие к снижению ее прочности и увеличению податливости. Эти повреждения обычно начинаются с обрыва волокон армирующего стеклоровинга, что вызывает перегрузку соседних волокон и отделение матрицы от волокна в окрестности разрыва. Эволюция повреждений состоит в увеличении числа разрушенных волокон, числа и протяженности расслоений между матрицей и волокнами, приводящих к повышению концентрации напряжений в неразрушенных волокнах, их разориентации и искривлению. Плотность обрывов со временем возрастает, достигая некоторой критической величины, когда поврежденные области начинают взаимодействовать между собой; скорость накопления повреждений увеличивается, приводя к пушению стекловолокна, снижению прочности армирующей оболочки, ее отслоениям от металла и механической нестабильности всей композитной конструкции.

Ресурс металлоконструкции при наличии концентраторов напряжений в основном определяется способностью к пластической деформации. В результате пластической деформации на начальном этапе происходит повышение прочностных свойств металла в области концентратора. Соответственно, приращение напряжений на этом участке компенсируется за счет упрочнения материала стенки; в этом случае деформирование протекает устойчиво. Когда возможности материала к упрочнению исчерпываются, уровень упрочнения становится недостаточным для нейтрализации роста напряжений, связанного с изменением формы. В результате теряется устойчивый характер процесса деформирования и начинается деформирование с неконтролируемой скоростью.

Исходя из этих общих положений о механизмах деградации композиционных материалов и с учетом специфики разрушения металлических конструкций, развитие процесса лавинного разрушения исследуемого металлопластикового баллона протекало следующим образом.

На определенном этапе раскрытия усталостной трещины повышение давления (при расширении газа* в баллоне после постановки автобуса в теплый гараж) при наличии острого концентратора напряжений, каковым являлось ПМП и уже распространяющаяся от него усталостная трещина, оказалось достаточным для начала местной деформации (вспучивания) лейнера. При этом напряжения передавались на стеклопластиковую силовую оболочку, которая также деформировалась под воздействием избыточного давления. В результате площадь отслоения обшивки от лейнера в зоне с ПМП увеличивалась; лейнер и силовая оболочка перестали быть единой конструкцией, совместно воспринимающей действие нагрузок. Именно постепенный характер нарастания нестабильности пластиковой оболочки, необходимость определенного промежутка времени для достижения ее критического уровня объясняет тот факт, что разрыв баллона был несколько отодвинут во времени, а не произошел сразу после достижения избыточного давления и начала местных деформаций в металле лейнера.

Как отмечалось в п. 5, к началу катастрофического разрушения силовая стеклопластиковая оболочка уже не выполняла своих функций (практически отсутствовала), и всю нагрузку принял на себя металлический лейнер. В этих условиях в различных сечениях лейнера появились многочисленные трещины, лавинообразное распространение и слияние которых перевело процесс на стадию одномоментного осколчатого разрушения с высвобождением большого запаса накопленной упругой энергии. На формирование осколков (их число, величину, конфигурацию) значительное влияние оказывают различия в прочностных свойствах металла на разных участках разрушающейся конструкции, наличие внутренних неоднородностей и микро-

* Надо подчеркнуть, что уровень увеличения давления газа не обязательно превышал допускаемые значения.

повреждений, определяющих места локализации деформации и последующего разрушения.

8. Основные выводы

Проведена металловедческая экспертиза разрушившегося при эксплуатации автомобильного газового баллона марки БА-97-20-322/1470 для природного компримированного топливного газа. Исследованный баллон состоит из внутреннего металлического лейнера и силовой композитной оболочки, окружающей цилиндрическую поверхность лейнера. Силовую оболочку получают путем последовательной намотки нитей стеклоровинга, сформированных в ленту и пропитанных полимерным связующим.

При анализе состояния металла использованы нормы и критерии, предусматриваемые документами ГОСТ Р 51753–2001, ПБ 10-115–96, ПБ 03-576–03, определяющими требования к изготовлению, безопасной эксплуатации и техническому диагностированию сосудов (баллонов), работающих под давлением:

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. По результатам технического маркировочного анализа материал, из которого выполнен металлический лейнер баллона, соответствует нормативным документам:

• материал лейнера – легированная хромомолибденовая сталь 30ХМА;

• уровень выявленных механических характеристик использованной стали входит в диапазон значений, указанных в нормативных документах.

2. На наружной поверхности одного из фрагментов лейнера среди вмятин и выпучин обнаружен прилегающий к излому дефект в виде протяженного механического повреждения (ПМП) размером до 130×7 мм. Данное повреждение не могло быть получено в процессе эксплуатации или при разрушении, что подтверждается следующей его особенностью: ПМП состоит из двух частично налагающихся друг на друга повреждений размерами до 68×7 мм и 62×7 мм, наклоненных под разными углами к поверхности лейнера. Изучение поперечного сечения стенки показало, что такое расположение ПМП привело к локальному уменьшению ее толщины почти на 42 %: утонение составило ≈2,5 мм при расчетной толщине 6 мм.

3. Отрицательное влияние ПМП на общую прочность баллона определили следующие основные факторы, обусловленные его присутствием:

изначальное местное ослабление металлопластиковой стенки баллона на ≈20 % вследствие утонения стенки металлического лейнера;

локальное нарушение монолитности соединения металлической и пластиковой оболочек (между тем, в металлопластиковых конструкциях эксплуатационные разрушения начинаются преимущественно с отслоений в зонах соединения металла с композитом);

создание условий для концентрации напряжений (концентраторы напряжений – одна из важнейших причин, ускоряющих развитие усталости в конструкциях, работающих в условиях переменных нагрузок).

4. В связи с тем, что баллоны для автомобильного топлива испытывают многократные циклические нагрузки (от действия высокого давления при заправке газа, а также при движении транспорта), распространенной причиной их разрушения является усталость металла. Усталостная природа начального разрушения исследуемого баллона подтверждается характерными особенностями макро- и микростроения поверхности изломов в зоне ПМП, на которых выявлены так называемые усталостные линии и усталостные бороздки.

5. Процесс разрушения баллона состоял из двух этапов: первый этап (развивающийся во времени) – возникновение и распространение усталостных трещин от ПМП, второй этап (одномоментный) – разрушение по механизму образования системы вязких трещин с последующим их слиянием и формированием осколков.

Постепенное развитие разрушения во времени подтверждается (помимо механизма усталости) наличием на поверхности излома вблизи

усталостных трещин пленочных и более плотных шлаковых загрязнений, имеющих достаточно прочное сцепление с изломом. Пленочные загрязнения подверглись съеживанию и фрагментации; плотные, относительно гладкие загрязнения претерпели процесс растрескивания.

6. Расчеты показали, что приращение внешнего диаметра цилиндрической части баллона в результате расширения под действием внутреннего давления превысило значение 2,5 %, соответствующее техническому состоянию стеклопластиковой оболочки перед разрушением. С учетом того, что из-за наличия ПМП стенка всей конструкции уже была ослаблена почти на 20 %, в момент окончательного разрушения, когда наружная оболочка практически отсутствовала, нагрузка пришлась на конструкцию с толщиной менее 30 % от расчетной.

7. Момент начала этапа лавинного разрушения баллона зависел от двух факторов: от способности металлического лейнера к пластической деформации без потери ее устойчивого характера; от постепенной деструкции и нарастания нестабильности внешней оболочки, сдерживающей расширение лейнера и обусловливающей накопление упругой энергии.

Уровень прочностных и пластических свойств металла лейнера, а также сдерживающее влияние стеклопластиковой оболочки обеспечили достаточно длительный промежуток времени от появления усталостной трещины до развития критических местных деформаций в лейнере. Поскольку эти деформации передавались на наружную оболочку, а стеклопластики при нагружении имеют тенденцию к прогрессирующему и необратимому повреждению, то деструкция композитной оболочки, общая площадь уже имевшегося ее отслоения от металла в зоне с ПМП и площадь новых отслоений постепенно увеличивались. После потери функциональных свойств силовой оболочки металлический лейнер принял на себя всю нагрузку, начался этап деформирования с неконтролируемой скоростью с последующим оскольчатым разрушением и высвобождением большого запаса накопленной упругой энергии.

Таким образом, основная причина преждевременного катастрофического разрушения исследованного автомобильного газового баллона, изготовленного из металла, соответствующего стандартным требованиям, – наличие на внутреннем металлическом лейнере протяженного дефекта доэксплуатационного происхождения, состоящего из двух частично налагающихся друг на друга механических повреждений размерами до 68×7 мм и 62×7 мм, наклоненных под разными углами к поверхности лейнера. Данный дефект явился концентратором напряжений и послужил очаговой зоной образования усталостных трещин.

На этапе предразрушения функциональные свойства стеклопластиковой силовой оболочки, оказывающей сдерживающее влияние на развивающиеся в металлическом лейнере процессы деформации, обусловили накопление в системе большого запаса упругой энергии. Тотальная потеря сплошности стеклопластикового покрытия в определенный момент развития деформаций привела к мгновенному высвобождению накопленной энергии с расширением и разрывом лейнера по механизму оскольчатого разрушения. Именно постепенный характер нарастания нестабильности пластиковой оболочки и необходимость некоторого промежутка времени для достижения критического уровня ее поврежденности объясняет тот факт, что разрыв баллона был несколько отодвинут во времени, а не произошел сразу после достижения избыточного давления и начала местных деформаций в лейнере.

В заключение следует отметить следующее.

1. Уровень увеличения давления в свежезаправленном баллоне при расширении газа в теплом помещении, оказавшийся достаточным для разрушения этого баллона (в условиях присутствия ПМП), не обязательно превышал допускаемые значения. Тем не менее, существуют рекомендации СибАДИ по зимней эксплуатации автомобилей, работающих на сжиженном углеводородном газе, согласно которым: а) следует избегать заправки баллона после окончания рабо-

чей смены и перед постановкой автомобиля в отапливаемое помещение; б) если заправка все же необходима, то не размещать автомобили в отапливаемых помещениях сразу после заправки.

2. Усталость металлоконструкций – процесс постепенного накопления повреждений в материале, обусловленный действием циклических нагрузок. Особенность усталостного разрушения состоит в том, что оно может иметь длительный инкубационный период (иногда годы эксплуатации изделия), когда выявление признаков приближающегося разрушения затруднительно. В случае композитных баллонов присутствие наружной оболочки усложняет своевременное выявление повреждений и дефектов в лейнере. С другой стороны, повреждения накапливаются и в этой внешней оболочке, приводя к пушению стекловолокна, снижению прочности, отслоениям от металла.

В связи с этим обоснованно возникают вопросы о рисках при эксплуатации и о возможном вреде плановых освидетельствований композитных баллонов в том случае, когда имеются, например, расслоения и отслоения на тыльной стороне стеклопластиковой стенки, которые не могут быть обнаружены при визуальной инспекции сосуда. В этом случае очевидное последствие проводимых при освидетельствовании гидравлических испытаний – доразрушение ослабленных в процессе эксплуатации волокон и внесение дополнительных повреждений в материал оболочки. Такой вариант не исключен в расследуемом случае (последнее освидетельствование баллона проводилось 13 декабря 2012 г., т.е. немногим более чем за два месяца до разрыва баллона).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ Р 51753–2001.** Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 2001. 20 с.

2. **ОСТ 37.001.6530–99.** Газобаллонное оборудование для транспортных средств, использующих газ в качестве моторного топлива. Общие технические требования и методы испытаний. Введен в действие 2000-02-01. М. 10 с.

3. **РД 03112194-1014–97.** Установка на автобусы газобаллонного оборудования для работы на компримированном природном газе (КПГ). Приемка и выпуск после установки. Испытание газотопливных систем. Введен в действие 01.05.1997 г. Москва, 2000.

4. **РД 14-001–99.** Методические указания по техническому диагностированию и продлению срока службы стальных баллонов, работающих под давлением. Согласовано с Госгортехнадзором России 24 декабря 1998 г. № 12-06/1211.

5. **ПБ 10-115–96.** Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утвержден Постановлением Госгортехнадзора России от 18.04.95 г. № 20. Москва. 1995.

6. **ПБ 03-576–03.** Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утвержден Постановлением Госгортехнадзора РФ от 11 июня 2003 г. № 91.

7. **ГОСТ 18895–97.** Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. М.: Изд-во стандартов, 1997. 15 с.

8. **ГОСТ 1497–84.** Металлы. Методы испытаний на растяжение. М.: Стандартинформ, 2005. 22 с.

9. **ГОСТ 4543–71.** Сталь качественная и высококачественная. М.: Изд-во стандартов, 2004. 39 с.

10. **ГОСТ 9450-76.** Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. М.: Изд-во стандартов, 1993. 35 с.

11. **Марочник** сталей и сплавов /Под ред. А.С. Зубченко и др. М.: Машиностроение, 2001. 672 с.

12. **Панов Ю.В.** Установка и эксплуатация газобаллонного оборудования автомобилей. М.: Издательский центр "Академия", 2004. 160 с.

13. **Бухаров Л.Н.** Зимняя эксплуатация автомобилей на сжиженном нефтяном газе. Омск: Изд-во СибАДИ. 1999. 224 с.

14. **Григорьев Е.Г., Колубаев Б.Д., Ерохов В.И. и др.** Газобаллонные автомобили. М.: Машиностроение, 1989. 216 с.

15. **Бухаров Л.Н., Жигадло А.П. Крылов В.Ф.** Особенности зимней эксплуатации газобаллонных автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2007. № 9. С. 41–45.

16. **Райнхарт Д., Пирсон Д.** Поведение материалов при импульсных нагрузках. М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. 256 с.

17. **Васильев В.В.** Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 272 с.

18. **Банселл А.Р., Тионнэ А., Камара С., Ален Д.Х.** Накопление повреждений и оценка долговечности углепластиковых сосудов высокого давления // Композиты и наноструктуры. 2009. № 3. С. 5–17.

19. **Грязнов Е.Ф., Стаценко Т.Г., Хахалин С.В., Одинцов В.А.** О разрушении цилиндрических оболочек на волновой стадии // Механика импульсных процессов: Сб. тр. МВТУ им. Н.Э. Баумана. 1983. № 399. С. 28–35.

20. **Клюнин О.С.** Металлопластиковый баллон высокого давления, способ контроля работоспособности металлопластикового баллона и устройство для его осуществления. Заявка: 2001115743/06, 05.06.2001. Опубл. 20.08.2003.

Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-00286*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук
(наименование организации, в состав которой входит лаборатория)

(ИФТПС СО РАН)
(краткое наименование организации, в состав которой входит лаборатория)

677980, Российская Федерация, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1
(юридический адрес)

Лаборатория разрушающих и других видов испытаний
(наименование лаборатории)

677980, Российская Федерация, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1
(фактический адрес лаборатории)

аккредитована в качестве испытательной лаборатории: лаборатории разрушающих и других видов испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и СДА-15-2009 «Требования к испытательным лабораториям».

Области аккредитации согласно приложению

Действительно с 25.11.2011 г.

до 25.11.2016 г.

Без приложения недействительно
(приложение на 2 листах)

*Замена 16.04.2012 г. в связи с изменением наименования организации

М.П. Руководитель
/В.С. Котельников/

Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 25.11.2011 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-00286
от 25.11.2011 г.

На 2 листах Лист 1

Область аккредитации[1]

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
1.	Механические статические испытания:	
1.1.	Прочности на растяжение	
1.1.1.	При нормальной температуре	ГОСТ 1497-84 ГОСТ 6996-66
1.1.2.	При пониженной температуре	ГОСТ 11150-84
1.1.5.	Тонких листов	ГОСТ 11701-84
1.1.6.	Проволоки	ГОСТ 10446-80
1.1.7.	Труб	ГОСТ 10006-80
1.4.	Прочности на изгиб	ГОСТ 14019-80 ГОСТ 14019-2003 ГОСТ 6996-66 РД 03-495-02
2.	Механические динамические испытания	
2.1.	Ударной вязкости	
2.1.1.	На ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах	ГОСТ 9454-78 ГОСТ 6996-66
3.	Методы измерения твердости	
3.1.	По Бринеллю (вдавливанием шарика)	ГОСТ 9012-59
3.3.	По Виккерсу (вдавливанием алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды)	ГОСТ 2999-75, ГОСТ Р ИСО 6507-1; 4-2009
3.4.	По Роквеллу (вдавливанием в поверхность образца (изделия) алмазного конуса или стального сферического наконечника)	ГОСТ 9013-59
6.	Методы исследования структуры материалов	

[1] Порядковый номер в формулировке согласно перечню областей аккредитации, принятому решением бюро Наблюдательного совета от 05.08.2011 № 44-БНС.

М.П. Руководитель
/В.С. Котельников/

Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 25.11.2011 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-00286
от 25.11.2011 г.

На 2 листах Лист 2

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
6.1.	Металлографические исследования	
6.1.1.	Определение количества неметаллических включений	ГОСТ 1778-70 ГОСТ Р ИСО 4967-2009
6.1.2.	Определение балла зерна	ГОСТ 5639-82, 21073-75
6.1.3.	Определение глубины обезуглероженного слоя	ГОСТ 1763-68
6.1.4.	Определение содержания ферритной фазы	ГОСТ 11878-66
6.1.6.	Определение степени сфероидизации перлита	ОСТ 34-70-690-84
7.	Методы определения содержания элементов	
7.1.	Спектральный анализ	Инструкция по эксплуатации оборудования
7.1.2.	Фотоэлектрический спектральный анализ	ГОСТ 18895-97

Места проведения испытаний: стационарные, в полевых условиях.
Протокол заседания Комиссии по аккредитации № СДА-КА-142-ИЛ/ЛРИ-043 от 25.11.2011 г.

М.П. Руководитель
/В.С. Котельников/

Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 30.03.2012 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-00286
от 25.11.2011 г.

На 1 листе Лист 1

Область аккредитации[1]

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
6.	Методы исследования структуры материалов	
6.2.	Анализ изломов методом стереоскопической фрактографии	Р 50-54-22-87

Места проведения испытаний: стационарные, в полевых условиях.
Протокол заседания Комиссии по аккредитации № СДА-КА-145-ИЛ/ЛРИ-046 от 30.03.2012 г.

[1] Порядковый номер в формулировке согласно перечню областей аккредитации, принятому решением бюро Наблюдательного совета от 21.02.2012 № 47-БНС.

М.П. Заместитель руководителя
/Н.Н. Коновалов/

СПИСОК АВТОРОВ РАЗДЕЛА "НАУКА"

Чикишев Евгений Михайлович, канд., техн. наук, Тюменский государственный нефтегазовый университет. Институт транспорта. Кафедра Эксплуатация автомобильного транспорта. 625062, г. Тюмень, ул. В. Худякова, д. 28. 8-912-923-63-10, chikishev_e@mail.ru

Анисимов Илья Александрович, канд. техн. наук, доцент, Тюменский государственный нефтегазовый университет. Институт транспорта. Кафедра Эксплуатация автомобильного транспорта. 625025, г. Тюмень, ул. Клары Цеткин, д. 29, корп. 6, кв. 38. 8-912-926-33-03

Гюльмалиев Агаджан Мирзоевич, д-р хим. наук, профессор, гл. науч. сотр., Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, e-mail: Gyulmaliev@ips.ac.ru

Каирбеков Жаксынтай Каирбекович, д-р хим. наук, профессор кафедры Физхимии, катализа и нефтехимии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, e-mail: niinhtm@mail.ru

Малолетнев Анатолий Станиславович, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный горный университет Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) "МИСиС", Москва, e-mail: Anatoly-Maloletnev@rambler.ru

Мылтыкбаева Жаннур Каденовна, канд. хим. наук, зам. декана по научно-инновационной работе и международным связям, факультет Химии и химической технологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, e-mail: niinhtm@mail.ru

Яковлева С.П., зав. отделом материаловедения, д-р техн. наук, профессор

Махарова С.Н., вед. науч. сотрудник, канд. техн. наук

Мордовской П.Г., мл. научный сотрудник

Оконешникова Е.С., ведущий инженер

Корнильева Г.М., ведущий инженер

Птицына А.В., ведущий инженер Институт физико-технических проблем им. В.П. Ларионова (Сибирского отделения РАН)

Chikishev Evgeniy Michailovich, graduate. Associate professor. Tyumen State Oil and Gas University. Institute of Transport. Chair: Vehicle operation. 625062, s. Tyumen, V. Khudyakova st. № 28. 8-912-923-63-10, chikishev_e@mail.ru

Anisimov Ilya Aleksandrovich, PhD, Associate professor. Tyumen State Oil and Gas University. Institute of Transport. Chair: Vehicle operation. 625025, s. Tyumen, Clara Zetkin st № 29, corp. 6, ldg. 38. 8-912-926-33-03

Gyulmaliev Agadjan Mirzoevich, doctor of chemical sciences, professor, chief researcher, the Institute of Petrochemical Synthesis, Moscow, e-mail: Gyulmaliev@ips.ac.ru

Kairbekov Zhaksyntay Kairbekovich, doctor of chemical sciences, prof., professor of Physchemistry, catalysis and petrochemistry department, the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, e-mail: niinhtm@mail.ru

Maloletnev Anatoly Stanislavovich, doctor of technical sciences, professor, Moscow State Mining University National Research Technological University (NRTU) "MISA", Moscow, e-mail: Anatoly-Maloletnev@rambler.ru

Myltykbaeva Zhannoor Kadenovna, candidate of chemical sciences, associate dean for science and innovation work and international relations, the faculty of chemistry and chemical technology, the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, e-mail: niinhtm@mail.ru

Yakovleva S.P., head. Department of material science, Dr. techn. sciences, Professor

Maharova S.N., the vdas. researcher. fellow, Cand. techn. sciences

Mordovskoy P.G., Jr. research scientist

Okoneshnikova E.S., leading engineer,

Korniljeva G.M., leading engineer

Ptitsina A.V., leading engineer (The Institute of physical and technical problems of Siberian Branch Larionova V.P. Russian academy of sciences)

СТОЛИЧНЫЙ ТРАНСПОРТ ПЕРЕХОДИТ НА ЭКОТОПЛИВО

Августин Северин

Мэр Москвы Сергей Собянин и глава ОАО "НК Роснефть" подписали соглашение по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива в столице.

Напомним, что к 2020 г. не менее 50 % столичных автобусов должны будут работать на газомоторном топливе.

– Сегодня подписываем соглашение с Роснефтью о развитии системы газомоторного топлива в Москве для заправки общественного транспорта и коммерческого транспорта, – пояснил Сергей Собянин. – Конечно, наше взаимодействие с Роснефтью далеко не ограничивается этой сферой деятельности.

"Роснефть" является одним из крупнейших экономических партнеров Правительства Москвы. Тысячи москвичей работают на предприятиях Роснефти, расположенных в городе. Мы вместе активно обсуждаем планы производственных, коммерческих и социальных проектов столицы.

Игорь Сечин поблагодарил рабочие группы, работавшие над подготовкой соглашения.

– Это очередной шаг нашего сотрудничества с городом, – отметил глава Роснефти. Он напомнил, что в настоящее время на территории столицы работает около 170 принадлежащих компании заправок.

– Новый спектр деятельности, посвященный газомоторному топливу является очень перспективным и с точки зрения экологии, и с точки зрения экономики, – отметил Игорь Сечин. – Мы надеемся на ощутимый результат. В прошлом году в бюджет города Москвы компания перечислила около 8 млрд руб., в этом году стоит задача как минимум в полтора раза увеличить доходную часть бюджета.

Глава Роснефти также обратил внимание на расширение сотрудничества с Москвой.

– Городские предприятия могут стать активными участниками поставки технологического оборудования для проектов компании, в том числе на шельфе, мы об этом также разговаривали с мэром, – добавил Игорь Сечин.

Комментируя подписание, заместитель мэра по вопросам транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры Максим Ликсутов напомнил, что одним из недавних распоряжений Правительства России рекомендовано перевести не менее половины городского общественного транспорта на газомоторное топливо. В рамках выполнения этого распоряжения Правительство Москвы уже подписали два распоряжения.

– Первое было с Газпромом, второе, подписанное сегодня, – с Роснефтью, о выполнении поручения Правительства Российской Федерации, – рассказал Максим Ликсутов.

По словам вице-мэра, главная сложность, с которой сталкивается столица при выполнении поручения федерального правительства – это отсутствие газозаправочной инфраструктуры.

– На сегодняшний день единственный парк – московский (там 218 газовых автобусов), который обладает такой инфраструктурой заправок, может работать на газовом топливе, – рассказал вице-мэр. – В случае, если Газпром и Роснефть инвестируют в создание данной инфраструктуры, у нас появится реальная возможность перейти на газомоторное топливо.

По словам Максима Ликсутова, следующим этапом взаимодействия Москвы с Роснефтью станет создание рабочей группы, в рамках работы которой Правительство Москвы и Роснефть обследуют транспортную инфраструктуру столицы.

Что касается Газпрома, то с ним Москва договорилась о совместных действиях на следующий год, поэтому есть все основания, что компания создаст свою часть газотранспортной инфраструктуры уже в следующем году.

– Мы, конечно, настаиваем на том, чтобы эта газотранспортная деятельность не была жестоко сфокусирована на Мосгортрансе, чтобы и другие предприятия транспортной системы города, и частные перевозчики, и личный, и грузовой транспорт также имели возможность пользоваться этими газозаправочными станциями, и в городе появилось больше экологически чистых, аналогичных электротранспорту автомобилей, – сказал Максим Ликсутов, напомнив при этом, что с 2010 г. Москва закупает наземный городской транспорт экологического класса не ниже Евро-5.

Экологичность – не единственное преимущество газового транспорта, он еще и экономичен. По словам заммэра, ежегодная экономия при переходе на газотранспортное топливо может составить до 2 млн руб. на один автобус.

– Это при том, что газотранспортная станция находится рядом с парком, нет холостых перепробегов и при нынешней дифференциации дизельного топлива и газа, – уточнил Максим Ликсутов

Фото: Антон Гердо, "Вечерняя Москва"

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ГАЗОВОГО АВТОБУСА МАЛОГО КЛАССА

Дмитрий Ожегов, гл. специалист по маркетингу направления ГБО ООО "РариТЭК"

В ОАО "КамАЗ" на площадке перед зданием дирекции прошла презентация новинки 2014 г. – Автобуса городского малого класса Bravis КПГ с газовым двигателем, мощностью 190 л.с. Данный газовый автобус является совместным продуктом компаний РариТЭК и КамАЗ-Марко.

В презентации автобуса, которую проводил руководитель ООО "РариТЭК" Рафаэль Батыршин, приняли участие генеральный директор ОАО "КамАЗ" Сергей Когогин и другие руководители подразделений камского автогиганта.

Осмотрев составные части автобуса, посидев в салоне и послушав работу мотора, а также прокатившись в качестве пассажиров по одному из проспектов Набережных Челнов, камазовские топ-менеджеры "дали добро" компании РариТЭК на серийное производство городских автобусов малого класса Bravis КПГ с газовыми двигателями.

Справка об автобусах Bravis:

• Автобусы выпускаются городского и пригородного классов.

·• Первое шасси КамАЗ российского производства для малых автобусов, в котором использованы агрегаты ведущих мировых производителей. Отличается низким расходом топлива и большим запасом мощности.

• Кузов автобуса BRAVIS – это продукт 64-летнего опыта Marcopolo в своем сегменте. Антикоррозионная защита каркаса кузова и всех его элементов, которые изготавливаются из оцинкованной стали и алюминия.

• Термический и акустический комфорт.

• Безопасность пассажиров.

• Современный дизайн.

Справка об ООО "КамАЗ-Марко":

Основная цель деятельности СП – организация производства и продаж в РФ и странах СНГ автобусов Marcopolo на базе автобусных шасси КамАЗ, соответствующих экологическим нормам "Евро-4" и выше, удовлетворяющих современные требования к технике для перевозки пассажиров. Автобусы производятся на мощностях дочернего предприятия ОАО "КамАЗ" – ОАО "НефАЗ" – в Нефтекамске, Республика Башкортостан. Проектируемая мощность к 2016 г. составит выпуск около 3 тыс. шт. в год.

Спецпредложение от ОАО "Лизинговая компания КамАЗ":

Городской автобус Bravis на шасси КамАЗ 3297

• Аванс – **20 %.**

• Срок лизинга – **48 мес.**

• Удорожание от **6,6 %**.

• Льготное страхование КАСКО – **1,1 %**.

В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ БУДЕТ РАЗРАБОТАНА ПРОГРАММА ПО ПЕРЕВОДУ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА РЕГИОНА НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

ООО "Газпром газомоторное топливо" и правительство Хабаровского края подписали соглашение о сотрудничестве в области расширения использования природного газа в качестве моторного топлива. Ввод в эксплуатацию первой на территории края АГНКС планируется в 2015 г.

Цель соглашения – повышение экономической эффективности транспортных перевозок и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

ООО "Газпром газомоторное топливо" и правительство Хабаровского края реализуют комплекс мер по созданию в регионе условий для эффективной газификации транспорта. В частности, будет разработана программа по переводу автомобильного парка региона на природный газ. Совместная работа сторон будет направлена на применение в регионе природного газа на пассажирском транспорте, специальной, коммунальной и иной технике.

Расширение парка газомоторной техники будет синхронизировано с вводом в эксплуатацию объектов газомоторной инфраструктуры. Строительство автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) обеспечит ООО "Газпром газомоторное топливо". В частности, ввод в эксплуатацию первой на территории края АГНКС планируется в 2015 г. В случае необходимости, будет предусмотрена возможность заправки техники с помощью передвижных автомобильных газовых заправщиков.

Хабаровский край – один из приоритетных регионов для инвестиционной деятельности ОАО "Газпром". Через Хабаровский край проходит сооруженная компанией первая на Востоке России межрегиональная газотранспортная система – "Сахалин – Хабаровск – Владивосток".

ООО "Газпром газомоторное топливо" – единый оператор по развитию рынка газомоторного топлива в России. Компания создана в декабре 2012 г. при участии ОАО "Газпром". Целью компании является расширение использования метана в качестве моторного топлива, который, по сравнению с традиционными видами топлива, является более экологичным, экономичным и безопасным.

EnergyLand.info

ГАЗПРОМ ЗАИНТЕРЕСОВАН В ВЫХОДЕ НА НОВЫЕ РЫНКИ СПГ В АЗИИ, АМЕРИКЕ И НА БЛИЖНЕМ ВОСТОКЕ

"Газпром" заинтересован в выходе на новые рынки сжиженного природного газа (СПГ) Юго-Восточной Азии, Южной Америки и Ближнего Востока, а также не охваченные трубопроводными поставками российского газа европейские рынки. Об этом говорится в сообщении компании по итогам заседания совета директоров "Газпрома", посвященного маркетинговой политике компании на внешних рынках малого и крупнотоннажного сжиженного природного газа (СПГ).

Текущая ситуация на мировом рынке сжиженного газа характеризуется устойчивым ростом спроса в среднем на 3 % в год. Положительная динамика наблюдается прежде всего на рынках Азиатско-Тихоокеанского региона.

В этих условиях основным направлением дальнейшего усиления позиций "Газпрома" в области крупнотоннажного СПГ является маркетинг продукции с новых проектов. В частности, компания прорабатывает возможность увеличения объемов поставок с проекта "Сахалин-2" за счет строительства третьей производственной линии. Начался маркетинг продукции завода по производству СПГ во Владивостоке, ведется работа по проекту "Балтийский СПГ".

Последовательное наращивание объемов выпускаемого СПГ позволит "Газпрому" к 2030 г. достичь 15 % мирового рынка, указывают в компании, отмечает ИТАР-ТАСС.

"Газпром" также намерен активизировать бизнес в области производства и поставки малотоннажного СПГ. Компания отмечает, что с учетом сокращения выбросов и оптимизации расходов на традиционные виды топлива, малотоннажный СПГ становится достойной альтернативой традиционным энергоносителям. Его применение в качестве автомоторного и бункеровочного топлива, в электро- и теплогенерации, а также на промышленных и коммунально-бытовых предприятиях имеет такие существенные преимущества, как экономическая эффективность и экологическая безопасность.

Маркетинговая политика "Газпрома" в области малотоннажного СПГ предполагает максимально полный охват всех возможных групп потребителей и формирование портфеля постоянных клиентов для обеспечения гарантированного сбыта.

Creonenergy Newsletter

СПГ-ТЕРМИНАЛ ПОСТРОЯТ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Предприятие по производству и перегрузке сжиженного природного газа (СПГ) мощностью 660 тыс. т планируется построить в порту Высоцк (Ленинградская область), сообщил информированный источник.

"Инвесторами выступят ОАО "Газпромбанк" и Gasum Oy (Финляндия)", сказал собеседник агентства. По его словам, объем инвестиций в строительство составит 15 млрд руб., предполагаемый срок реализации проекта – с 2015 по 2017 г.

Ранее сообщалось о планах реализовать в Ленинградской области проект "Балтийский СПГ", предусматривающий строительство СПГ-завода мощностью до 10 млн т в год. Рынки сбыта СПГ этого проекта – Испания, Португалия, Великобритания, Латинская Америка, Индия.

В настоящее время рассматриваются три площадки для "Балтийского СПГ" – в трех портовых зонах Ленобласти – Усть-Луге, Приморске и Выборге. Ожидается, что окончательное решение по площадке будет принято в ближайшее время.

В марте текущего года стало известно, что срок ввода первой очереди "Балтийского СПГ" мощностью 5 млн т переносится с 2018 г. на 2019 г., а партнером "Газпрома" в проекте станет Газпромбанк.

Creonenergy Newsletter

МАЛОТОННАЖНЫЙ СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ И ЕГО РАЗВИТИЕ В РОССИИ

В.В. Дементьев, директор НП "СГМО", генеральный директор ООО "АГЗК плюс АТ"

На совещании в Новом Уренгое по "Генеральной схеме развития газовой отрасли на период до 2030 года" В.В. Путин отметил в своем выступлении:

"Тем не менее, пока централизованное газоснабжение практически полностью отсутствует на Дальнем Востоке, в Мурманской области, в ряде других субъектов Федерации. Во многих регионах сохраняются так называемые узкие места и ограничения для подключения новых потребителей. Причем, смотрите, какое количество у нас населенных пунктов, крупных населенных пунктов, городов живет в условиях этих ограничений! Это Ивановская, Костромская, Нижегородская, Ярославская, Калининградская, Курганская, Ленинградская и Новгородская области, Московская область, Республика Коми, Краснодар. Даже по Москве и Петербургу есть ограничения". "По всем экспертным оценкам, в глобальном газовом балансе будет расти доля сжиженного природного газа. Уже к 2015 г. прогнозируется почти двукратное увеличение рынка СПГ – необходимо учитывать эту тенденцию. Да и нам это руки развязывает, как вы понимаете, как раз решает задачу освоения нетрадиционных для нас рынков".

Эта последняя фраза определяет задачи сегодняшнего дня для развития индустрии сжиженного природного газа в России. Это направление делится на большой газ, идущий на экспорт с больших заводов и малый газ с малых установок в основном для внутрироссийского потребления.

Необходимо сказать несколько слов об истории развития малого природного газа в России, точнее выражаясь – малотоннажный сжиженный природный газ (СПГ).

Малотоннажный сжиженный природный газ, т.е. производящийся в объемах не более 10 т/ч, отличается от большого собрата меньшей степенью пожароопасности. Поэтому станция для его производства, станция заправки и регазификации может располагаться в непосредственной близости от производственных и жилых помещений; доставка малотоннажного СПГ к потребителю может осуществляться любым видом транспорта.

Работы по развитию технологий производства и применения СПГ в нашей стране ведутся более 20 лет. Их инициаторами стали ОАО "Газпром" (бывшие руководители – В.С. Черномырдин и Р.И. Вяхирев) и ООО "Лентрансгаз" (в те годы), создавшие компанию "Криогаз".

Компания "Криогаз" была создана в 1993 г. Один из ее основателей С.Г. Сердюков перешел на работу в систему "Лентрансгаза", и вместе с П.И. Родионовым, тогдашним его директором, и В.Е. Финько, главным конструктором организовали производство СПГ на территории Ленинградской области. Их в полном смысле слова можно назвать первооткрывателями новой тогда для России технологии малотоннажного производства и использования СПГ. Неоценимую помощь в существовании и развитии сегодняшнего "Криогаза", в реализации многих проектов и наработок оказывало в первые годы руководство ООО "Лентрансгаз" (ныне это ООО "Газпром Лентрансгаз") во главе с генеральным директором С.А. Фурсенко и его заместителем Г.А. Фокиным. Они постоянно активно, особенно это надо подчеркнуть, помогали в решениях как экономических, так и технологических проблем, встающих перед коллективом.

Масштабы производства малотоннажного СПГ и сегодня пока скромные, но перспективы исключительно интересные. Сама эта технология чисто российская, уникальная и экономичная.

С 1996 г. Россия стала тринадцатой страной – производителем СПГ, а с 2000 г. мы стали двенадцатой страной экспортером этого продукта.

Внутренний российский рынок СПГ родился, когда СПГ стал коммерческим продуктом и даже вышел на экспорт. В "Газпроме" было принято решение и создано ООО "Балтийский сжиженный газ" (80 % – "Газпром – Германия", 20 % – "Совкомфлот") для строительства завода по сжижению газа в Ленинградской области.

Развивалось газообеспечение Ленинградской области сжиженным газом с минизаводов на АГНКС и ГРС.

Уже в конце 1990-х гг. были завершены работы по созданию и вводу в эксплуатацию комплексов сжижения природного газа на ГРС "Никольское" и типового мини-завода по производству 1 т/ч СПГ на АГНКС – 8 в Санкт-Петербурге. В Свердловской области завершены работы и началась эксплуатация по получению СПГ на АГНКС города

Первоуральска, в Самарской области завершены работы на ГРС – 16, в Московской области введена установка получения СПГ на АГНКС – 1 в пос. Развилка.

Появились потребители СПГ: в Ленинградской области – котельная и объекты коммунального хозяйства в городе Луга; в Свердловской области – объекты на базе отдыха "Озеро глухое"; в Московской области – обеспечение СПГ коммунальных объектов, экспериментального самолета в городе Жуковский, обеспечение экспериментальной базы "РЖД" – турбогазовоз ТГ-01.

ООО "Лентрансгаз" в 1996 г. осуществил продажу первых партий СПГ на экспорт в Финляндию. В ОАО "Газпром" (годы работы В.С. Черномырдина и Р.И. Вяхирева) принята "Программа газификации Ленинградской области и Мурманской области с помощью СПГ".

В 1997–2001 гг. работы ОАО "Газпром" по развитию технологий СПГ осуществлялись в соответствии с Программой "Создание прогрессивных технологий и технических средств в области использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива и энергоносителя на 1997–2005 гг.".

18–19 декабря 2001 г. состоялось заседание Научно-технического Совета (НТС) ОАО "Газпром" секции "Использование природного газа" по теме "Опыт и перспективы применения сжиженного природного газа на объектах ОАО "Газпром" в Санкт-Петербурге на базе ООО "Лентрансгаз".

В 1997–2001 гг. работы ОАО "Газпром" по развитию технологий СПГ осуществлялись в соответствии с Программой "Создание прогрессивных технологий и технических средств в области использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива и энергоносителя на 1997–2005 гг.".

Но вскоре руководство ОАО "Газпром" сменилось, и председателем правления стал А. Миллер. Было решено, что "Газпром" в сжиженном природном газе не заинтересован. Проекты развития малотоннажного СПГ и газификации Ленинградской и Мурманской областей были "заморожены". Проект "Балтийский СПГ" объявлен "не целесообразным" (заседание правления ОАО "Газпром" от 07.02.2008 г.) и ООО "Балтийский СПГ" ликвидировано.

Но малотоннажный СПГ не пропал. Независимо от "Газпрома" было много энтузиастов, развивающих это направление: и на производствах, и в НИИ, и среди производителей криогенного оборудования. Не пропал опыт, накопленный в Санкт-Петербурге фирмами ООО "Лентрансгаз", ООО "Криогаз", ЗАО "Крионорд" в кооперации с другими предприятиями.

По оценке ООО "Газпром-Промгаз" суммарный потенциал производства СПГ на АГНКС и ГРС ОАО "Газпром" составляет до 14 млн т (20 млрд м^3.) в год. Конечно же, это – теоретический расчет. Однако не учитывать данный потенциал при разработке генеральных схем газоснабжения регионов России нельзя.

И сегодня в "портфеле" института "Промгаз" имеется много проектов малых установок (МУ) производства СПГ во многих регионах России, особенно в таких, как Республика Саха (Якутия), Новосибирская область, Дальний Восток, даже Краснодарский Край. В этом направлении работают и многие другие российские институты.

Можно констатировать, что основные задачи НИОКР развития проблемы применения сжиженного природного газа решены, и наша страна вплотную подошла к широкомасштабному развертыванию работ по созданию необходимой инфраструктуры для использования нового топливного ресурса в народном хозяйстве и применения сжиженного природного газа там, где нет трубопроводного газа.

В конце 2009 г. в "Газпроме" принимается новая Концепция газификации территории России, в которой провозглашается, что отныне газификация отдаленных территорий будет производиться по безтрубопроводной технологии с помощью сжиженных газов СПГ и СУГ. Конечно, и речи не могло быть об использовании СПГ с построенного на Сахалине завода – этот СПГ только на экспорт. Для газификации с помощью СПГ надо строить малотоннажные производства. Но первый шаг сделан – концепция дала регионам право выбора – прокладывать трубы или возить СПГ.

Газ поможет заселению, развитию жизни в Сибири, на Дальнем Востоке, на Крайнем Севере. "Газпром" потеряет монополию, появится конкуренция среди поставщиков газа (СПГ), цена на газ в России будет доступна всему населению. Это стратегический вопрос развития укрепления мощи государства. Именно эта тема прозвучала в докладе В.В. Путина на совещании в Новом Уренгое, где рассматривалась Генеральная схема развития газовой отрасли на период до 2030 г.

Независимые производители газа – это компании, имеющие лицензии и добывающие газ независимо от ОАО "Газпром". Это не только такие гиганты, как "НОВАТЕК", "Роснефть", "Лукойл" и другие, но и мелкие компании. Они разбросаны по разным регионам страны, от Ставропольского края, Краснодарского края до Западной Сибири.

Они есть в Европейской части России, на Севере и в Восточной Сибири. Их больше ста. Они добывают до 15 % газа всей добычи России. Денег для участия в развитии газотранспортной системы у них нет. Зато есть лицензионные резервы на увеличение добычи газа. Вот именно им стоит задуматься, по примеру своих более состоятельных коллег (Ямал СПГ, Печера СПГ) о строительстве на своих промыслах малых установок (МУ) по производству СПГ. Расчеты показывают, что стоимость создания МУ для получения СПГ ниже стоимости создания газопроводной системы. Транспортировка СПГ разными видами транспорта, экономически выгоднее, чем строительство газопроводов.

В первую очередь надо подумать о сельском хозяйстве

Топливо в сельском хозяйстве имеет решающее значение, так как затраты на топливо в себестоимости сельскохозяйственной продукции составляют почти 50 % и любое повышение цен на топливо может привести к убыточности производства и, как следствие, к развалу всего хозяйства. С целью выхода из кабальных условий, определяемых ценовой политикой нефтяных монополий на топливо, некоторые сельскохозяйственные районы начали переводить свои автотранспортные средства и прочую стационарную технику на газомоторное топливо. Активность перевода двигателей сельскохозяйственных механизмов, работающих в бензиновом и дизельном режиме в сельскохозяйственных районах сейчас значительно выше, чем в городских условиях. Несмотря на то, что в газодизельном режиме работа двигателя обеспечивается частично дизельным топливом, срок окупаемости затрат на перевод техники на газомоторное топливо составляет не более одного года. Тракторная промышленность уже начала выпуск тракторных двигателей, работающих на ГМТ и техники с газовыми двигателями.

Может ли сетевое обеспечение природным газом удовлетворить нужды всех потребителей России?

Сетевое снабжение газом городов и сел, находящихся в отдалении от построенных газопроводов, практически не входило в планы газификации. В результате действующая ЕСГ России не ориентирована на массового потребителя: города страны газифицированы в среднем до 63 %, сельская местность – лишь около 40 %; во многих регионах уровень газификации населенных пунктов в сельской местности в два–три раза и более отстаёт от городского. Средний уровень газификации по Европейской части России трубопроводным природным газом составляет 45 %. Существующие газопроводы–отводы имеют среднюю загрузку 25...30 % от проектной, при этом более половины их суммарной протяженности эксплуатируются с производительностью 30 % и ниже от проектной.

Внутреннее потребление газа в России 470...500 млрд м^3. Рост составляет примерно 15...20 %.

Приведенные данные свидетельствуют о значительной ненасыщенности внутреннего газового рынка страны. Как решить эту проблему?

В особом положении находятся независимые производители газа. Одним из их преимуществ может являться экономически эффективное освоение ими малых газовых месторождений в регионах России (за исключением компаний "НОВАТЭК", "Роснефть", "Лукойл" и т.п.), запасы которых только в Европейской части страны, категорий А+В+С1, насчитывают более 370 млрд м^3.

Альтернативным вариантом реализации добычных возможностей независимых производителей газа, включая нефтяные компании, и их выхода на внутренний рынок могут стать технологии СПГ, реализующие не трубопроводную доставку энергоресурса потребителю.

На внутреннем российском рынке технологии и установки производства СПГ пока в весьма малом количестве. Действующих установок на базе АГНКС и ГРС сегодня 8 ед.; в процессе проектирования и строительства – еще 7 ед. Закончено проектирование и ведутся подготовительные земельные работы завода по производству СПГ, мощностью 1 млн т в год, в Тамбовской области; проектируется малотоннажный завод СПГ мощностью 200 т в сутки в Ленинградской области.

Уже сегодня годовое производство СПГ на действующих установках достигает 250 тыс. т в год. В ближайшие 2–3 года будет производиться более 2 млн т СПГ в год. Если сюда добавить СПГ с завода "Печора СПГ", ориентировочно, 2 млн т в год, это значит, что через 3–4 года нужна будет масса различных транспортных средств для перевозки СПГ внутри России сухопутным путем.

Для наземной транспортировки СПГ в настоящее время отечественным криогенным машиностроением разработан и выпускается целый ряд типовых криогенных систем и контейнеров различных модификаций для железнодорожного, автомобильного, речного и воздушного транспорта. Имеется многолетний опыт производства оборудования для сжижения, хранения и регазификации СПГ, которое должно быть установлено у потреби-

теля. Решены вопросы безопасности транспортировки СПГ.

Особенно большие "пиковые" нагрузки возникают при резком похолодании в осенне-зимний период или при авариях на газопроводах. Такие "пики" требуют значительных объемов газа для их "сглаживания".

Хранилища СПГ могут быть созданы практически в любых районах, в любых объемах, а при включении в действие насосов и установок регазификации происходит выдача регазифицированного газа в считанные минуты. Именно поэтому для регулирования "пиковых" нагрузок используются установки сжижения природного газа с низкотемпературными хранилищами.

Особое значение имеет применение СПГ при обеспечении Северного завоза

Северный завоз – это комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока основными жизненно важными товарами (прежде всего, продовольствие и нефтепродукты) в преддверии зимнего сезона.

К данным территориям относится около 60 % площади России. Северный завоз в той или иной степени обеспечивает 21 субъект Российской Федерации. На этих территориях живет около 20 млн человек, располагается третья часть мировых запасов никеля, десятая часть меди и кобальта. Здесь находится большинство российских месторождений алмазов, золота, почти половина деловой древесины, около 80 % запасов нефти, практически весь природный газ с учетом месторождений на шельфе морей, прилегающих к побережью.

В связи с этим, при строительстве заводов СПГ и малых установок СПГ на газопромыслах, на континентальных шельфах Ямала, Баренцева моря и Дальнего Востока появляется реальная возможность заменить традиционные дорогостоящие энергоносители, доставляемые с Большой земли.

Также следует решать проблемы автономного энергоснабжения удаленных регионов России – Крайнего Севера, Карелии, Мурманской области, Дальнего Востока, Камчатки, Хабаровского Края и др. Суть предлагаемой технологии подразумевает доставку сжиженного природного газа (СПГ) от строящихся заводов СПГ к прибрежным поселкам и удаленным пунктам с использованием при этом всех видов транспортных средств – малые морские и речные каботажные танкеры, автоконтейнеровозы, воздушные средства, в свою очередь использующие газомоторное топливо – СПГ.

О хранилищах СПГ

Широкое использование СПГ, как универсального энергоносителя, требует решения ряда специфических задач, наиболее важной из которых является разработка эффективных способов хранения СПГ. Необходимо отметить, что создание стационарных подземных хранилищ СПГ является новой отраслью в российской промышленности и строительстве. До настоящего времени в России имеется только опыт хранения СПГ в специальных наземных резервуарах с экранно-вакуумной тепловой изоляцией, выполненных на основе транспортных криогенных емкостей.

Строительство заглубленных изотермических хранилищ ввиду более высоких характеристик экономичности, улучшенной пожаровзрывобезопасности является наиболее перспективным направлением создания современных хранилищ СПГ, особенно для хранения небольших объемов в целях перевода систем автономной энергетики и транспорта на СПГ.

О модулях для СПГ

Модульная система сооружения объектов находит применение в индустрии малотоннажного СПГ. Модульная стратегия снижает объем работ, необходимых на основной строительной площадке. Модульная стратегия применяется на объектах СПГ как на месторождениях газа, так и при строительстве установок СПГ на АГНКС и ГРС.

Модульная стратегия особенно необходима для проектов с сезонными или погодными проблемами, вызывающими длительные периоды застоя в строительстве; для проектов краткосрочной эксплуатации, после которой модуль перевозится на новое место; для арктических проектов; для проектов с ограниченной площадью строительства, дороговизной строительно-монтажных работ или отсутствием на месте квалифицированной рабочей силы. Модульный принцип может оказаться единственным правильным решением в экстремальных условиях, при строительстве нескольких единообразных объектов. В частности, он должен стать определяющим при размещении объектов малотоннажного производства СПГ в удаленных регионах России.

О специалистах для индустрии сжиженного природного газа

В России до сего момента ни в одном из учебных заведений не готовили специалистов в области СПГ.

В этом направлении впервые в РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина началась большая работа, которая открывает возможность перед компаниями, заинтересованными в подготовке кадров в области СПГ.

Уже три года в университете на кафедре оборудования нефтегазопереработки, учат специалистов по программе магистерской подготовки "Техника и технологии производства СПГ".

Кроме программы магистерской подготовки, в Губкинском университете создана программа дополнительного профессионального образования с присвоением дополнительной квалификации "Специалист по производству сжиженного природного газа" (аналог второго высшего образования).

Открыт вопрос подготовки специалистов средней квалификации и технического персонала. Это задача Министерства образования Российской Федерации.

Переходим к средствам заправки СПГ в автотранспортные системы

Любую АЗС нефтяного топлива можно перепрофилировать в МАЗС (многотопливную АЗС) с выдачей помимо нефтяных топлив – компримированного и сжиженного природного газа (КПГ и СПГ). Для этого необходимо к оборудованию АЗС добавить оборудование приема, хранения и выдачи СПГ. Надо поставить криогенные резервуары, газификатор СПГ высокого давления, криогенный плунжерный насос высокого давления, теплообменник с источником тепла и раздаточные колонки КПГ и СПГ. При этом СПГ на МАЗС доставляется криогенной автоцистерной.

Следует отметить, что установка криогенного резервуара с СПГ на АЗС не нарушает безопасности его эксплуатации, так как природный газ менее взрывоопасен, чем бензин. Температура воспламенения бензина 190...230 °С, а природного газа 542 °С; взрывоопасная концентрация паров бензина 1,4...7,0 %, а природного газа 5...15 %.

Транспортные криогенные цистерны – они также могут быть использованы самостоятельно для заправки транспортных средств, работающих на СПГ или КПГ, при наличии на транспортной цистерне или на местах заправки газификационной системы высокого давления.

Транспортировка СПГ по железной дороге

При решении задач энергоснабжения и вопросов строительства газопроводов следует учитывать, что железнодорожная сеть уже существует и в данном случае не является объектом крупномасштабного инвестирования, как известно, удельная стоимость прокладки газопроводов составляет до 5 млрд дол. США на 1000 км. Потребный парк подвижного состава требует расчета и определяется объемом поставок.

Провозная способность однопутной железнодорожной линии составляет 14...18 млн т (20...25 млрд м^3) в год и кратно возрастает при двухпутном движении.

Приведенные соображения могут стать предметом рассмотрения для нового решения вопросов энергетической стратегии многих негазифицированных регионов, ограниченных лимитами поставок природного газа, в связи с недостаточной пропускной способностью существующих газопроводов.

Как известно, в существующей газопроводной системе до 10...11 % газа затрачивается на перемещение транспортируемого продукта. Невозможно себе представить, чтобы на железной дороге из ста перевозимых цистерн 10–11 из них были сожжены на тягу даже при дальности перевозимых на многие тысячи километров. При железнодорожных перевозках на транспортировку энергоресурсов при сопоставимых условиях затрачивается не более 2 % его объема.

Внутренние российские маршруты железной дороги интересны с точки зрения региональной газификации.

О газотурбовозе ГТ-01

Явилось определенным прорывом в вопросе продвижения СПГ в качестве моторного топлива решение руководства РЖД, поддержанного ОАО "Газпром" и администрацией Свердловской области о переводе маневровых тепловозов Свердловской железной дороги на КПГ, а магистральных – на СПГ. По этой программе создано на ГРС-4 (Екатеринбург) производство СПГ мощностью 3 т/ч.

В январе 2009 г. газотурбовоз ГТ-01 провел состав из 159 вагонов, общей протяженностью до 2,2 км. Вес поезда составил 15 тыс. т; это значит, что один газовый локомотив заменяет четыре обычных. ГТ-01 был зарегистрирован в Книге рекордов Гиннеса как самый мощный в мире локомотив.

О криогенной авиации

Среди славных достижений фирмы "Авиационный научно-технический комплекс им. А.Н. Туполева" есть и такое: в апреле 1988 г. совершил свой

первый полет самолет на жидком водороде ТУ-155, а уже на следующий год машина совершила целый ряд испытательных и демонстрационных полетов на сжиженном природном газе (СПГ).

Самолеты на криогенном топливе должны в первую очередь обслуживать такие районы, как Уренгой, Ямбург, ЯНАО, районы Восточной Сибири и Дальнего Востока, Заполярный круг и другие районы, где много дешевого газа, а керосин все дорожает и его приходится доставлять, во многих случаях, на самолетах.

О дирижаблях и СПГ

Фантастическая форма "приплюснутой чечевицы", это непросто эстетика, радующая глаз, но, в первую очередь, уникальная возможность преодолевания климатических условий, возможность практического применения – перенос грузов до 600 т на борту или на подвешенной платформе на расстояния в 5000 км и более. А если к этому добавить то, что, несмотря собственный вес и тяжесть груза, аппарат максимально управляем, маневрен и способен приземляться на любую ровную поверхность в любое время, взлетать и садиться вертикально, зависать на одном месте, то исключительность летательного аппарата "Локомоскайнер" несомненна.

Уникальность и эффективность данных аппаратов не только в возможностях универсального приземления, но и в том, что они делают во многих случаях ненужным строительство капитальных дорог. Грузы в тайгу и тундру, на ледяные поля и в горные местности, на фундаменты строительных площадок можно завозить в собранном и полусобранном виде на этих аппаратах. Возможен вывоз сырья, особенно твердого или сжиженных газов. Возможна перевозка людей с доставкой в самые отдаленные и непроходимые места.

Не составит труда подсчитать экономическую выгоду и пользу для экологии.

Использование дирижабля большой грузоподъемности типа "Локомоскайнер" позволит заметно снизить издержки производства в ключевых индустриальных областях. "Локомоскайнер" имеет разные модификации с грузоподъемностью от 10 до 600 т. Он предназначен как для перевозки людей, так и для транспортировки негабаритных грузов: карьерной и строительной техники, турбин, реакторов, буровых вышек, ЛЭП, сжиженных газов и прочих разнообразных грузов.

Практически неограниченная дальность и продолжительность полета делают его высоко конкурентным транспортным средством на рынке грузоперевозок. "Локомоскайнер" не только может перевозить СПГ, но и двигатели его работают на сжиженном природном газе.

О речном флоте и СПГ

СПГ получил широкое распространение за рубежом на морском и речном флоте. Решением ЕС в связи с экологической необходимостью морской флот постепенно переходит на применение в качестве топлива для судовых двигателей сжиженного природного газа.

В России широкое развитие применения СПГ возможно и на речном флоте, особенно в регионах, где имеются проблемы с дизельным топливом, это реки и водоемы Восточной Сибири, Дальнего Востока, за Уралом. Много грузоперевозок по рекам в Европейской части России. Криогенные установки можно располагать на берегах рек или ставить прямо на специальных судах. Соответствующие опыты проводились в СССР 20–30 лет назад.

При работе речного флота на реках, выходящих к берегам Северного ледовитого океана, возникают проблемы с дизельным топливом: дороговизна, трудность в хранении в холодное время года.

Заинтересованность в применении в качестве топлива СПГ проявили в Ленском пароходстве, Обском пароходстве, Московском пароходстве и в Санкт-Петербурге. Сегодня разрабатывается технология применения СПГ на речных судах. Подготавливаются проекты инфраструктуры обеспечения судов СПГ.

Доставка СПГ потребителям речным флотом экономичнее других вариантов доставки в отдаленные места Сибири и Европейской части России.

Цель моей статьи – привлечь внимание деловой общественности к развитию применения сжиженного природного газа в России. А также использованию для этой цели новых видов транспорта.

АВТОКОМПАНИИ ПЕРЕКЛЮЧИЛИСЬ НА НОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Работающие на водороде автомобили пойдут в серию уже в 2015 году

Алина Распопова

Серийную продажу автомобилей, работающих на топливных элементах, Honda и Toyota запустят уже в следующем году. Машины, черпающие энергию из водорода, отличаются более высоким запасом хода по сравнению с электромобилями и обладают нулевым уровнем выбросов вредных газов в атмосферу. Эксперты называют такие автомобили не более чем маркетинговым ходом и отмечают отсутствие заправочной инфраструктуры.

Компании Honda и Toyota планируют уже в следующем году запустить в серийное производство модели на топливных элементах. Каждый из производителей рассчитывает ежегодно производить до 1 тыс. экокаров в год. Изначально японские марки будут предлагать такие автомобили для государственных структур и коммерческих предприятий, после чего ожидается, что ими заинтересуются и простые покупатели. По предварительной информации, новые машины будут стоить около $97 тыс. – об этом сообщает японский деловой ежедневник .

Автомобили на топливных элементах отличаются более высоким запасом хода по сравнению с классическими электромобилями и при этом обладают нулевым уровнем выбросов вредных газов в атмосферу.

Растущий интерес к новым технологиям продиктован заботой прогрессивных государств об окружающей среде и усилиями по снижению парникового эффекта. В числе преимуществ машин на топливных элементах эксперты называют высокую скорость заправки по сравнению с электрокарами. Кроме того, несмотря на всю экологичность электрокаров, производство аккумуляторов для них до сих пор представляет достаточно вредный для окружающей среды процесс.

В настоящее время Honda заканчивает работу над пятиместным седаном, который выйдет уже в ноябре 2015 г.

Полного бака для водорода, изготовленного из углеродного волокна, автомобилю Honda хватит на 500 км пути, что примерно вдвое превышает средний пробег электромобиля на одной зарядке.

В течение последующих пяти лет компания планирует выпустить 5 тыс. автомобилей на топливных элементах и продавать их в Японии, США и Европе.

Отметим, что в прошлом году Honda объединилась с General Motors для ведения исследований в области топливных элементов.

В свою очередь, Toyota также намерена довести объем выпуска своих автомобилей на топливных элементах до такого же уровня, как и Honda.

Прогрессивный седан от Toyota запустят в Японии, США и Европе в 2015 г. А к 2020 г. авто-

производитель намерен увеличить годовое производство до десятка тысяч единиц.

Сейчас эксперты компании Toyota проводят дорожные испытания с целью повышения надежности своих автомобилей. Для того чтобы сделать салон более просторным, инженеры сократили количество емкостей для водорода с четырех до двух, а компактную систему по выработке энергии разместили под сиденьями.

Обеим компаниям, скорее всего, удастся избежать серьезных затрат, пока объемы производства невелики. В свою очередь, Toyota надеется снизить стоимость своих автомобилей до $30...50 тыс. к 2020 г.

Между тем на недавно завершившемся Женевском автосалоне также заявил о намерениях продолжить работу в этом направлении и запустить в серию водородный кроссовер в 2017 г.

Пару лет назад на международном автосалоне в Лос-Анджелесе Mercedes уже выставлял прототип водородного полноприводного Mercedes Ener-G-Force: он и может послужить основой для будущего автомобиля.

Для разработки системы топливных элементов на водороде Mercedes привлек компанию Ford, альянс Renault–Nissan и правительство Германии, которое гарантирует расширение сети водородных заправок до 400 шт. к 2017 г.

Компания Hyundai также выразила свою заинтересованность в автомобилях, работающих на водородных топливных элементах, представив в Женеве прототип компактного кроссовера Intrado с нулевым выбросом вредных газов в атмосферу.

Он оснащается силовой установкой нового поколения на водородных топливных элементах, использующих литий-ионную батарею емкостью 36 кВт·ч. Для заправки автомобиля потребуется всего несколько минут, а единственным веществом, которое выделяется при работе двигателя, является вода. Запаса хода машины должно хватить примерно на 600 км.

Известно также, что силовыми установками на водородных топливных элементах заинтересовался ряд мировых автопроизводителей, в частности Ford, BMW, Mazda и даже индийская Tata Motors Limited, работающая над созданием автобуса на водороде совместно с Индийской организацией космических исследований.

При этом у этого направления современного автопрома есть серьезные оппоненты.

Так, глава компаний SpaceX и Tesla Элон Маск не верит в успех водородных топливных элементов. Об этом он заявил во время встречи с сотрудниками и клиентами нового сервисного центра Tesla в Германии, назвав автомобили на базе водородных топливных элементов полной фигней.

По его словам, такие технологии хороши для ракет, но не автомобилей. Также Элон Маск отметил, что автомобили на базе водородных топливных элементов, скорее, являются маркетинговым ходом автопроизводителей, чем реальным долгосрочным решением проблемы развития транспорта. При этом он не забыл добавить, что даже лучшие водородные технологии не способны обеспечить такую плотность хранения энергии, как современные литий-ионные батареи, используемые в электромобиле Tesla Model S.

Отметим, что одним из главных недостатков автомобилей, работающих на водороде, в данный момент специалисты считают отсутствие заправочной инфраструктуры. К примеру, в США существует всего десять водородных заправочных станций. Всего несколько станций, расположенных далеко друг от друга, находятся в Великобритании и Германии. Для подобных заправок стоимость оборудования гораздо выше, чем для классических. Кроме того, смесь водорода с воздухом весьма взрывоопасна.

О принципах работы автомобилей на топливных элементах "Газете.Ru" рассказал руководитель Академии Subaru Дмитрий Филонов.

"Мы берем водород, помещаем его в специальную установку, где происходит определенная реакция с образованием воды – таким образом, мы получаем электрическую энергию, – объяс-

F-CELL Mercedes-Benz. Фотография: Bloomberg via Getty Images
Источник: focus-ua

няет Филонов. — То есть мы не сжигаем топливо в двигателе, а получаем электроэнергию, которая приводит в действие автомобиль. За счет химической реакции получается электричество, и оно используется в электродвигателе – обычный мотор автомобилю не нужен".

По словам Филонова, такие автомобили стали появляться в ответ на требования продвинутых государств о снижении выбросов углекислого газа.

"Сейчас идет борьба с газами, которые вызывают глобальное потепление и вызывают парниковый эффект. Чтобы уменьшить количество углекислого газа, выделяемого в атмосферу, выход только один – снизить расход топлива", – отметил эксперт.

По его мнению, без соответствующих мер экономической поддержки со стороны государства, предоставления определенных льгот и дотаций, массовые продажи автомобилей на топливных элементах в России пока невозможны.

"В отличие от нас, во всех странах, которые сейчас борются с парниковым эффектом, создана стройная система экологических классов автомобилей в зависимости от их экономичности, выбросов углекислого газа, – отметил эксперт. – И чем более экологичный автомобиль выбирает водитель, тем на большие меры поддержки он может претендовать, например, на пониженный транспортный налог".

Газета.ру

УЧЕНЫЕ ИЗ США ПОДНЯЛИ В НЕБО САМОЛЕТ НА ТОПЛИВЕ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Изобретатели успешно запустили воздушное судно на радиоуправлении с использованием альтернативного источника энергии

По словам экспериментаторов, их изобретение – специальная установка, которая позволяет разлагать воду на водород и диоксид углерода. Впервые ученые из США не только переработали топливо, но и запустили на нем небольшой самолет на радиоуправлении. Летательный аппарат успешно взлетел, сделал несколько кругов и приземлился.

Стоимость топлива из морской воды оценивается в 3–6 долларов за галлон, что считается очень низкой ценой для экологически чистого топлива. В ближайшее время ученые надеются, что их изобретением заинтересуются ВВС США, а также гражданские авиаперевозчики.

Gudok.ru