



ISSN 2073-1329

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ВКЛЮЧЕН
В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

№ 4 (40)
2014



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

АГНКС
ПОД КЛЮЧ



ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА

научно-производственная компания

15
лет

УСПЕШНОЙ
РАБОТЫ
НА РЫНКЕ
ГАЗОМОТОРНОГО
ТОПЛИВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

РЕКОНСТРУКЦИЯ
СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

+7(812)648-24-60
www.lenprom.spb.ru



На фото АГНКС ООО «Газпром трансгаз Махачкала». Работы по реконструкции станции выполнила ООО «НПК «Ленпромавтоматика», 2012 г.

Применение переохлажденного пропана в авиации
Влияние погодных условий на расход КПГ
Автопробег «Набережные Челны – Симферополь»

Учредитель и издатель

НП «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА),
аффилирована с Международным газовым союзом

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

П.Г. Цыбульский
генеральный директор ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Члены редакционной коллегии

А. Беранек
генеральный директор ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус» (Чехия)

Б.В. Будзуляк
председатель Комиссии по использованию
природного и сжиженного нефтяного газа
в качестве моторного топлива, д.т.н.

В.И. Ерохов
профессор «МАМИ», д.т.н.

Р.З. Кавтарадзе
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

Т.В. Климова
начальник службы по связям с общественностью
и СМИ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
заместитель главного редактора

С.И. Козлов
профессор, д.т.н.

С.В. Люгай
директор Центра использования газа
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,
исполнительный директор НГА

В.А. Марков
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

А.В. Николаенко
ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

Ю.В. Панов
профессор МАДИ, к.т.н.

Н.Н. Патрахальцев
профессор Российского университета
дружбы народов, д.т.н.

Е.Н. Пронин
член совета НГА

В.Л. Стативко
ветеран газовой отрасли, к.т.н.

В.Н. Фатеев
зам. директора НИИ «Курчатовский институт», д.х.н.

Редактор

О.А. Ершова
E-mail: transport.1@ngvrus.ru
Тел.: +7 (498) 657 29 76

Отдел подписки и рекламы
E-mail: transport.2@ngvrus.ru
Тел.: +7 (498) 657 29 77

Перевод

А.И. Хлыстова

Компьютерная верстка

И.В. Шерстюк

Адрес редакции:

142717, Московская обл., Ленинский р-н,
п. Развилка, а/я 253
www.ngvrus.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Принт-Лидер»,
117186, Москва, ул. Нагорная, д. 15, корп. 8

Номер заказа

Сдано на верстку 20.06.2014 г.

Подписано в печать 20.07.2014 г.

Формат 60x90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.

Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал

«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,
опубликованной в рекламных материалах

На обложке:

Реклама ООО «НПК «Ленпромавтоматика»

В НОМЕРЕ

- Общее собрание членов Некоммерческого партнерства
«Национальная газомоторная ассоциация» 3
- Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г.**
Математическая модель тепловых процессов
в автомобильных баллонах с метаном 5
- Почукаев М.И., Панов Ю.В., Зенченко В.А.,
Молчанинов В.И.**
Исследование степени влияния погодных условий
на расход КПП автобусами 14
- Форум «Автотранспорт на газомоторном топливе
в России» 19
- В России предлагают создать метановую ракету 20
- Лиханов В.А., Лопатин О.П.**
Улучшение экологических показателей дизеля
4Ч 11,0/12,5 путем применения природного
газа и рециркуляции 21
- Разносчиков В.В., Загумёнов В.В., Демская И.А.**
Теплогидравлическая оптимизация авиационной
криогенной топливной системы, использующей
переохлажденный пропан 26
- Требования по подготовке статей
к опубликованию в журнале 36
- Газомоторное топливо за рубежом –
увеличение экспорта Газпрома 37
- Газпром развивает газомоторный рынок Чехии 37
- Матюхин Л.М.**
Особенности использования коэффициентов
наполнения «по воздуху» и «по смеси» для оценки
результатов газообмена в газовых двигателях 38
- Карагусов В.И., Карагусов И.В.**
Термоакустические охладители на солнечной энергии
для орбитальных комплексов 47
- 2014-й – Год экологической культуры. 51
- Табарин В.А., Шестаков А.В., Чжан Ю.В.,
Ермаков А.А., Палант А.И.**
Дистанционный лазерный газоанализатор
нового поколения, размещаемый на беспилотном
летательном аппарате 52
- Обсужден Рейтинг экологической
ответственности нефтегазовых компаний 58
- Новые технологии использования природного газа . . 59
- Научно-квалификационные работы 65
- Автопробег «Набережные Челны – Симферополь». . . 68
- Перспективные направления кооперации
и сотрудничества с корейскими производителями
оборудования 70
- Газомоторные перспективы Удмуртии. 72
- Годовое собрание членов ЕДК. 74
- Мировой рынок КПП в качестве моторного топлива
по состоянию на июнь 2014 года 76
- Abstracts of articles 78
- Авторы статей в журнале № 4 (40) 2014 г. 79
- Подписка – 2014 80

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

Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle Association (NGVRUS), is affiliated with IGU

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybulsky, P.G.

Director General of Gazprom VNIIGAZ, PhD

Editorial board members

Beranek Antonin

Director General of VITKOVICE Rus (Czech Republic)

Budzulyak, B.V.

Chairman of the Commission for Use of Natural and Liquefied Petroleum Gas as Gas-Motor Fuel, Doctor of Engineering

Erokhov, V.I.

MAMI Professor, Doctor of Engineering

Kavtaradze, R.Z.

Professor of N.E. Bauman's MG TU, Doctor of Engineering

Klimova, T.V.

acting Head of Public and Mass Media Relations Service of Gazprom VNIIGAZ, deputy chief editor

Kozlov, S.I.

Professor, Doctor of Engineering

Lyugai, S.V.

PhD, Director of the Centre «Gas Use»,

JSC «Gazprom VNIIGAZ», executive director, NGVRUS

Markov, V.A.

Professor of N.E. Bauman's MG TU,

Doctor of Engineering

Nikolaenko, A.V.

Rector of the Moscow State Technical University (MAMI),

Professor, Doctor of Science

Panov, Yu.V.

Professor of MADI (GTU), PhD

Patrakhaltsev, N.N.

Professor of People's Friendship University of Russia,

Doctor of Engineering

Pronin, E.N.

member of the Council, NGVRUS

Stativko, V.L.

The vet of gas industry, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,

Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 76

Subscription and Distribution Department

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 77

Translation by

Khlystova A.

Computer imposition

Sherstyuk, I.V.

Editorial office address:

PO Box 253, p. Razvilka, Leninsky r-n,

Moskovskaya obl, 142717

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 20.06.2014

Endorsed to be printed on 20.07.2014

Format 60x90 1/8 Circulation 3,000 copies Enamel paper

Offset printing, 10,5 conditional printed sheets

When copying materials, a reference «Alternative Fuel Transport»

International Scientific and Technical Magazine is obligatory.

The editors are not responsible for accuracy of the information

contained in advertising matter.

CONTENTS

General Members' meeting of the nonprofit partnership «National gas-engine association»	3
Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy . 5 Mathematical Model for Thermal Processes in the utomobile Cylinders with Methane	5
Michael Pochukaev, Uriy Panov, Valeriy Zenchenko, Victor Molchaninov The effects of weather conditions on buses' consumption of CNG	14
Projects on methane rocket production in Russia	20
Vitaliy Likhhanov, Oleg Lopatin Improving the environmental performance of diesel 4x11.0/12.5 by using natural gas and recycling	21
Vladimir Raznoschikov, Victor Zagumennov, Ilyana Demskay Thermohydraulic optimization of the aero-derivative cryogenic fuel supply system running on supercooled propane	26
New branches	37
Leonid Matyukhin Utilization peculiarities of the excess-air coefficients «by air» and «by fuel-air mixture» for the evaluation of the gas exchange results in gas-engines	38
Vladimir Karagusov, Ivan Karagusov Thermoacoustic Coolers on Solar Energy for Orbital Complexes	47
New branches	51
Valeriy Tabarin, Alexander Shestakov, Uriy Chjan, Alexander Ermakov, Arnold Palant New generation remote laser gas-analyzer arranged on unmanned aerial vehicle	52
Oil and gas companies' environmental responsibility rating discussion	58
New natural gas applications technologies	59
Research projects	65
Car run «Naberezhnye Chelny – Simferopol»	68
Promising cooperation directions with Korean equipment manufacturers	70
Udmurtia's gas-engine prospects	72
Annual meeting of European Business Congress' members.	74
Abstracts of articles	78
Contributors to journal issue No 4 (40) 2014 г	79
Subscription – 2014	80

Общее собрание членов Некоммерческого партнерства «Национальная газомоторная ассоциация»



26 июня 2014 г. состоялось Общее собрание членов Некоммерческого партнерства «Национальная газомоторная ассоциация».

Руководил работой собрания председатель Э.Д. Гайдт. С его вступительного слова и началась работа собрания.

С отчетным докладом выступил исполнительный директор НГА С.В. Люгай, о финансовой деятельности отчиталась главный бухгалтер Партнерства И.Ф. Никорук.

Затем состоялось утверждение годового отчета, бухгалтерского баланса и заключения Ревизора, избрание Совета Партнерства и Ревизора, принятие приоритетных направлений деятельности НГА в 2014-2015 гг.

Заслушав и обсудив вопросы в соответствии с повесткой Общего собрания членов Партнерства, участники собрания приняли следующие решения:

1. Утвердить годовой отчет, бухгалтерский баланс и заключение ревизора.

2. Избрать членами Совета Партнерства:

- Аннюка Дмитрия Михайловича, заместителя генерального директора по реализации газа ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», Республика Беларусь;

- Ахметшина Альберта Юнусовича, генерального директора ОАО «Удмуртавтотранс», РФ;

- Гайдта Давида Давидовича, генерального директора ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», РФ;

- Пронина Евгения Николаевича, главного специалиста ООО «Газпром экспорт», РФ;

- Пронина Евгения Павловича, директора по газомоторной технике и диверсификации ОАО «КАМАЗ», РФ;

- Степаненко Олега Александровича, главного инженера – первого заместителя генерального директора ООО «Газпром газомоторное топливо», РФ;

- Шуманна Андрэ, начальника департамента Э. ОН Глобал Коммодитиз СЕ, Германия.

3. Избрать Ревизором Партнерства главного бухгалтера ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Петрова С.В.

4. Утвердить следующие приоритетные направления деятельности Партнерства в 2014-2015 гг. с учетом предложений членов Партнерства:

4.1. Организовать тематические секции:

- Компримированный природный газ – инфраструктура и оборудование;
- Сжиженный природный газ;
- Сжиженный углеводородный газ – инфраструктура и оборудование;
- Газовая автомобильная техника;



Степаненко О.А.



Гайт Э.Д. и Люгай С.В.

- Инфраструктурные проекты;
- Маркетинговые исследования и локализация объектов газомоторной инфраструктуры (СУГ, СПГ, КПП);
- Международное сотрудничество;
- Взаимодействие с органами власти, регионами и общественностью.

4.2. Продолжить взаимодействие с федеральными, региональными и муниципальными органами власти, Некоммерческим партнерством «Российское газовое общество», Международным газовым союзом, региональными газомоторными ассоциациями, другими российскими и зарубежными организациями в области газовых видов моторного топлива.

4.3. Принимать участие в работе рабочей группы Министерства энергетики Российской Федерации по подготовке предложений по использованию сжиженных углеводородных газов и природного газа в качестве моторного топлива.

4.4. Принимать участие в разработке предложений и рекомендаций по совершенствованию оборудования газомоторной инфраструктуры и бортового газового оборудования транспортных средств.

4.5. Содействовать развитию научно-технического прогресса в газомоторной отрасли.

4.6. Способствовать участию организаций-членов НП «НГА» в подготовке и реализации региональных, муниципальных и отраслевых программ

расширения использования газовых видов моторного топлива на транспорте.

4.7. Активизировать работу по совершенствованию и развитию правовой и нормативно-технической базы в области газовых видов моторного топлива.

4.8. Продолжить издание международного научно-технического журнала «Транспорт на альтернативном топливе» и ведение сайта НГА.

4.9. Продолжить организацию и проведение форумов, конференций, семинаров и выставок.

4.10. Оказывать информационную поддержку в подготовке и проведении:

- 12-й Международной выставки «Газ на транспорте» GasSUF;

- Петербургского Международного газового форума, I специализированной выставки «Газомоторное топливо»;

- 2-й Международной конференции «СУГ 2014»;

- 21-й Московской международной выставки «Автокомплекс 2014»;

- 3-й Международной конференции «СПГ 2014»;

- 4-й Международной конференции «КПП 2014».

4.11. Участвовать в V конференции и выставке Европейской газомоторной ассоциации (Бельгия, Брюссель).

5. Считать приоритетной задачей участие в разработке, принятии и реализации государственной программы по развитию рынка газомоторного топлива РФ.

6. Сформировать Реестр членов Партнерства и ознакомить с ним членов Партнерства.

После собрания состоялось заседание Совета НГА. На повестке дня было избрание Председателя Совета Партнерства, обсуждение других вопросов.

Было принято решение избрать председателем Совета Партнерства Степаненко Олега Александровича, главного инженера – первого заместителя генерального директора ООО «Газпром газомоторное топливо».



Математическая модель тепловых процессов в автомобильных баллонах с метаном

С.Ю. Белоусова, ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,
В.С. Зарубин, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
Я.Г. Осадчий, генеральный директор ЗАО НПП «Маштест», д.т.н.

Разработана математическая модель тепловых процессов при заполнении, опорожнении, испытаниях, хранении и транспортировке баллонов с метаном трех типов: металлических (как правило, стальные); металлокомпозитных, состоящих из металлического лайнера, армированного композиционным материалом по цилиндрической поверхности; армированных по всей поверхности лайнера. В результате сравнительного анализа известных уравнений состояния газов выбран вариант уравнения состояния метана, наиболее близко коррелирующий с экспериментальными данными, и получена уточненная зависимость коэффициента сжимаемости метана от его плотности и температуры. Для трех расчетных схем тепловой модели, соответствующих рассматриваемым конструктивным типам баллонов, составлены системы дифференциальных уравнений, описывающие изменение во времени температуры метана, а также температур характерных конструктивных элементов баллона.

Ключевые слова:

конструктивные типы баллонов, тепловая модель баллона, уравнение состояния метана, коэффициент сжимаемости метана.

Метан, составляющий основную часть используемого на транспорте компримированного природного газа (КПГ), в отличие от большинства газов обладает важной особенностью: при фиксированной температуре и увеличении давления КПГ примерно до 30 МПа его плотность возрастает быстрее, чем давление [1, 2]. При нормальной температуре плотность растет быстрее всего при давлении около 15 МПа, а при снижении температуры давление, соответствующее наибольшему темпу роста плотности, также снижается.

Отмеченная особенность метана позволяет повысить эффективность

эксплуатации баллонов для КПГ в зимний период и в условиях континентального климата при значительных суточных изменениях температуры. В частности, возникает возможность существенного увеличения массы метана в баллоне при пониженной температуре окружающего воздуха.

Для получения надежных количественных оценок эффективности, связанных с использованием указанной особенности метана, необходимо располагать адекватной математической моделью, описывающей тепловые процессы в типовых баллонах с метаном при их заполнении, опорожнении, хранении

и транспортировке. Ключевым элементом такой модели должна быть зависимость между основными параметрами, характеризующими состояние метана в баллоне. В качестве таких параметров для любого газа обычно используют его давление p и температуру T , а также плотность ρ или удельный объем $v=1/\rho$ газа. Зависимость между этими параметрами принято называть уравнением состояния данного газа.

Уравнение состояния метана

При давлении, близком к атмосферному, и температуре, близкой к комнатной, для большинства газов справедливо уравнение Клапейрона – Менделеева в виде [1]

$$p = \rho RT, \quad (1)$$

где R – газовая постоянная для данного газа (для метана $R \approx 518,3$ Дж/(кг · К) [2]).

Метан при параметрах его состояния, характерных для основных режимов эксплуатации типовых баллонов для КПП, не подчиняется уравнению (1).

Существуют различные подходы к уточнению уравнения (1). Один из них связан с использованием уравнения Ван-дер-Ваальса для реальных газов [2, 3]

$$p = \rho RT / (1 - b\rho) - a\rho^2, \quad (2)$$

включающего два дополнительных параметра a и b . Первый из них учитывает силы притяжения, возникающие между молекулами газа, а второй равен условному конечному объему молекул 1 кг газа при неограниченном повышении давления. Для метана $a \approx 875,7$ МПа(м³/кг)² и $b \approx 0,002675$ м³/кг [2].

В работе [4] предложено использовать двухпараметрическое уравнение Редлиха – Квонга в виде

$$p = \rho RT / (1 - b_*\rho) - a_*\rho^2 T^{-1/2} / (1 + b_*\rho), \quad (3)$$

где для метана $a_* \approx 1245$ Па(м³/кг)²К^{1/2} и $b_* \approx 0,001625$ м³/кг.

В работе [5] на основе критического анализа более двухсот публикаций, посвященных термодинамическим и теплофизическим свойствам метана,

построена достаточно громоздкая аппроксимирующая зависимость для свободной энергии Гельмгольца. Эта зависимость позволяет установить количественную связь между давлением, температурой и плотностью газообразного метана, а также получить расчетные формулы для энтальпии метана и его изохорической или изобарической теплоемкостей. Сравнение с данными экспериментов показало, что отличие расчетных значений теплоемкостей метана по этим формулам от экспериментальных не превышает одного процента, а отклонение от экспериментальных данных расчетных значений плотности метана лежит в пределах 0,03 % при давлении до 12 МПа и температуре до 350 К, а при давлении до 1000 МПа и температуре до 620 К – не выше 0,15 %.

Следует отметить, что отличие результатов расчетов плотности метана по формулам (1–3) от данных работы [5] возрастает по мере уменьшения температуры и при давлении 20 МПа и температуре 250 К превышает 10 % (рис. 1). Поэтому для получения достоверных данных о параметрах состояния метана при пониженных температурах целесообразно использовать результаты работы [5], которые удобно представить в виде зависимости коэффициента сжимаемости метана

$$z(p, T) = p / (\rho RT) \quad (4)$$

от давления и температуры (рис. 2). Величина, обратная коэффициенту сжимаемости, определяет темп увеличения плотности с ростом давления при фиксированном значении температуры.

Целесообразно провести сравнение зависимостей плотности метана от давления и температуры, определяемых формулой (3) и соотношениями из работы [5], с данными, используемыми для расчета расхода КПП при эксплуатации газобаллонных автомобилей [6]. В работе [6] приведены значения V_* объемов метана (в нм³) в баллоне вместимостью $V=50$ л при изменении давления

от 0,98 до 19,6 МПа в интервале температур от -30 до 40 °С. Эти значения использованы для вычисления плотности метана по формуле $\rho = pV_* / (VRT)$. Результаты вычислений представлены в табл. 1 в колонках, отмеченных

символом [6]. В колонках с символом (3) помещены результаты, полученные с применением этой формулы, а в колонках с символом [5] – вычисленные по данным этой работы.

Из табл. 1 следует, что расхождение

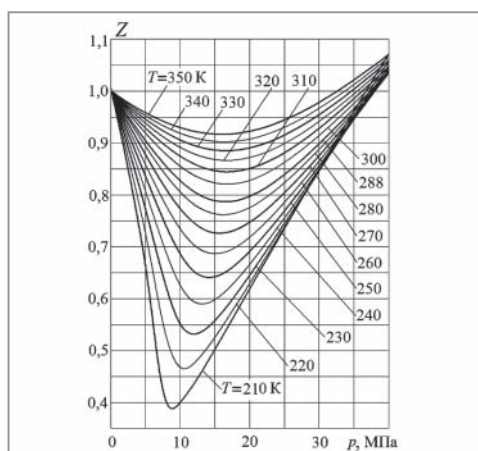
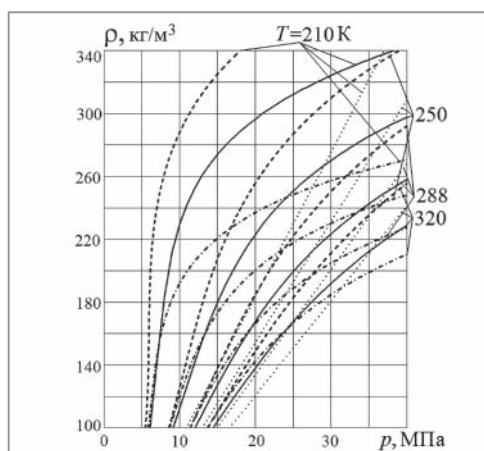


Рис. 1. Графики зависимости плотности метана от давления при различных температурах, построенные по уравнениям: – (1); – (2); – (3); ———— – по данным работы [5]

Рис. 2. Графики зависимости коэффициента сжимаемости метана от давления при различных температурах, построенные по данным работы [5]

Таблица 1

Сравнение значений плотности (в кг/м^3) метана, вычисленных по формуле (3) и по данным работ [6] и [5]

p , МПа	T , °С								
	-30			0			40		
	[6]	(3)	[5]	[6]	(3)	[5]	[6]	(3)	[5]
0,98	7,87	8,08	8,05	7,59	7,10	7,09	7,44	6,14	6,12
1,96	16,46	16,83	16,71	15,75	14,60	14,52	14,89	12,48	12,42
2,94	25,62	26,38	26,07	24,19	22,51	22,31	22,47	19,03	18,89
3,92	34,50	36,89	36,24	32,49	30,89	30,49	30,49	25,79	25,63
4,90	45,95	48,59	47,36	42,09	39,78	39,08	38,94	32,77	32,33
5,88	57,98	61,74	59,53	51,10	49,19	48,08	46,81	39,96	39,29
6,86	71,57	76,68	72,88	61,84	59,18	57,49	55,68	47,35	46,41
7,84	92,33	93,73	87,42	74,44	69,73	67,29	65,13	54,94	53,65
8,82	109,2	113,0	103,0	84,74	80,85	77,45	74,01	62,72	61,00
9,80	125,5	134,1	119,4	96,77	92,49	87,88	83,17	70,65	68,45
0,78	140,6	155,4	135,8	107,8	104,5	98,51	92,62	78,72	75,95
11,76	156,2	175,4	151,6	121,0	116,8	109,2	102,2	86,89	83,49
12,74	172,4	192,9	166,2	133,0	129,2	119,8	112,1	95,13	91,02
13,72	178,9	208,1	179,3	145,2	141,4	130,2	122,2	103,4	98,51
14,70	188,4	221,1	191,1	155,6	153,3	140,4	131,0	111,6	105,9
15,68	197,4	232,5	201,4	163,6	164,7	150,0	139,7	119,8	113,2
16,66	199,4	242,6	210,6	169,1	175,5	159,2	148,4	127,9	120,4
17,64	204,6	251,5	218,9	178,9	185,6	167,9	157,2	135,9	127,5
18,62	209,3	259,6	226,2	183,8	195,2	176,1	160,0	143,7	134,3
19,60	213,7	267,0	232,9	186,0	204,1	183,7	166,5	151,3	140,9

значений плотности метана, вычисленных по трем источникам исходных данных, сравнительно мало для всех значений давления, не превышающих 4,9 МПа, и температур -30 и 0 °С. Для температуры 40 °С заметное расхождение возникает при меньшем давлении. Характерно, что при этой температуре плотность метана, вычисленная по данным [6], для всех значений давления выше по сравнению с результатами, полученными по формуле (3) и по соотношениям из работы [5].

Необходимо отметить, что многочисленные экспериментальные данные указывают на монотонность изменения темпа роста плотности метана при возрастании давления при фиксированной температуре. Этому условию удовлетворяют результаты расчетов, помещенные в колонках с символами (3) и [5] (см. табл. 1), и противоречат результаты, представленные в колонках с символом [6], что вызывает определенные сомнения в надежности исходных данных, использованных в работе [6].

Математическая модель изменения параметров состояния метана в баллоне

В соответствии с законом сохранения энергии (первый закон термодинамики [7]) для единицы массы (1 кг) метана в баллоне можно записать уравнение

$$dQ = c_v dT + p dv, \quad (5)$$

где dQ – измеряемая в Дж/кг теплота, подводимая к метану за промежуток времени dt ; c_v – удельная массовая теплоемкость метана при постоянном объеме (изохорическая теплоемкость, графики зависимости которой от температуры при различных значениях плотности, построенные по данным работы [5], представлены на рис. 3); dT и dv – изменение за время dt , соответственно, температуры и удельного объема метана; p – давление метана в баллоне.

Первое слагаемое в правой части уравнения (5) равно изменению массовой плотности внутренней энергии 1 кг метана при изменении его температуры, а второе – работе, совершаемой 1 кг метана при его расширении, когда $dv > 0$, или же работе при сжатии 1 кг метана, когда $dv < 0$.

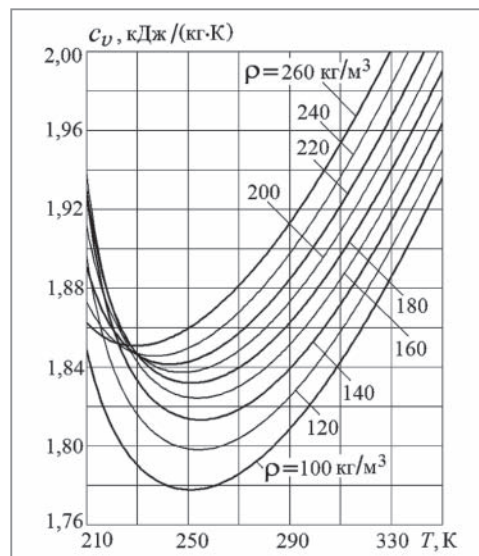


Рис. 3. Графики зависимости изохорической теплоемкости метана от температуры при различных значениях плотности

В баллоне вместимостью V масса газа равна $m = \rho V = V/v$. Отсюда находим $v = V/m$ и $dv = -(V/m^2)dm$. После подстановки в уравнение (5) с учетом соотношения (4) получаем обыкновенное дифференциальное уравнение [8]

$$c_v \frac{dT}{dt} = \frac{dQ}{dt} + z(\rho, T) \frac{RT}{m} \dot{m}, \quad (6)$$

где $\dot{m} = dm/dt$ – скорость изменения массы метана в баллоне, кг/с.

Отметим, что в рабочем диапазоне изменения давления p в баллоне допустимо пренебречь изменением вместимости V за счет деформации оболочки баллона, поскольку оно составляет доли процента. Тогда для плотности метана в баллоне в любой момент времени t можно записать соотношение $\rho(t) = m(t)/V$, где

$$m(t) = m_0 + \int_0^t \dot{m}(t') dt'. \quad (7)$$

Здесь $m(t)$ и m_0 – значения массы метана в баллоне, соответственно, в текущий момент времени t и в момент времени $t=0$, принимаемый за начальный.

Скорость dQ/dt подвода теплоты к единице массы метана в баллоне зависит от двух основных факторов: интенсивности теплообмена метана с внутренней поверхностью баллона и режима заполнения баллона. Для количественной оценки влияния первого фактора необходимо располагать тепловой моделью баллона конкретного конструктивного типа, учитывающей условия его теплообмена с окружающим воздухом. Влияние второго фактора отсутствует при $\dot{m} \equiv 0$, то есть при хранении или транспортировке баллона с метаном, а также при его опорожнении, но является определяющим в процессе заполнения баллона при $\dot{m} > 0$.

Представим скорость подвода тепловой энергии к метану в баллоне в виде двух слагаемых: $W(t)$ – тепловой мощности, подводимой ($W>0$) к метану или отводимой ($W<0$) от метана при его теплообмене с внутренней поверхностью баллона и тепловой мощности

$$W_*(t) = (\dot{m}(t) + |\dot{m}(t)|)(H(p^*, T^*) - H(p, T))/2, \quad (8)$$

где $H(p^*, T^*)$ и $H(p, T)$ – энтальпия единицы массы метана, зависящая соответственно

от давления p^* и температуры T^* газа перед его поступлением в баллон и от давления p и температуры T в баллоне. В случае заполнения баллона на АГНКС p^* и T^* – давление и температура на контрольно-измерительном участке [6]. Графики зависимости $H(p, T)$ от p при различных значениях T приведены на рис. 4.

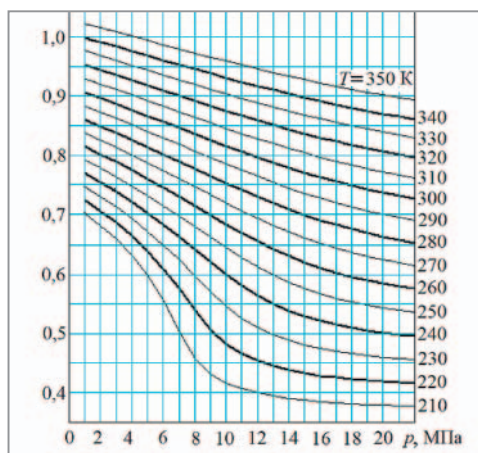


Рис. 4. Графики зависимости энтальпии метана от давления при различных температурах

Тепловые модели баллонов трех конструктивных типов

• Из существующих баллонов для КПП [9] рассмотрим три достаточно распространенных варианта конструкции цилиндрических баллонов (табл. 2):

Таблица 2

Характеристики баллонов трех конструктивных типов

Параметр	Изготовители		
	ПНТЗ	ОМЗ	НПФ «Реал-Шторм»
Баллон тип обозначение	1 –	2 БА-50-20-254/1262	3 БА50.20.327/910
Вместимость, л	50	50	50
Давление, кгс/см ²	200	200	200
Диаметр наружный, мм	219	254	327
Длина, мм	1753	1262	900
Масса, кг	93	33,9	37,5
Толщина лейнера, мм	8,9	4,2	5,5
Материал лейнера	Ст45	Ст35ХМА	Сплав АД33
Толщина обмотки, мм	–	3,3	13,5
Материал обмотки	–	Стеклопластик	Стеклопластик
Нормативный документ	ГОСТ 949-73	ТУ 4591-001-29416612-2005	ТУ 4591-010-13055988-2006

- металлический (обычно стальной);
- с несущим металлическим лейнером, армированным композиционным материалом только по наружной поверхности обечайки;
- металлокомпозитный баллон с тонкостенным металлическим лейнером, армированным по всей наружной поверхности.

Наиболее сложной является тепловая модель баллона третьего конструктивного типа. Для двух других типов тепловые модели можно получить упрощением модели баллона третьего типа. Поэтому более подробно рассмотрим построение модели для баллона третьего типа, осевое сечение которого представлено на рис. 5.

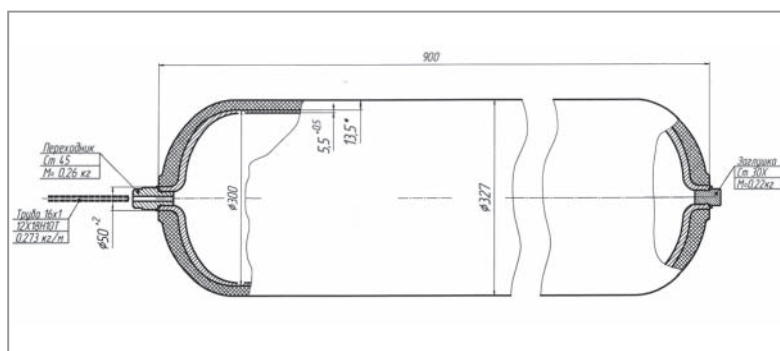


Рис. 5. Конструктивная схема баллона третьего типа:
материал лейнера – алюминиевый сплав АД 33; материал композита – стеклопластик; масса баллона – 37,5 кг

Первый этап построения тепловой модели баллона с метаном состоит в условном разделении конструкции баллона на отдельные элементы и вычислении полных теплоемкостей этих элементов.

В конструкции баллона выделим в качестве сосредоточенных теплоемких масс обечайку и днища лейнера, а также армирующие слои на обечайке и днищах. Кроме того, в модели необходимо учесть в виде сосредоточенной теплоемкой массы находящийся в баллоне метан. Каждой теплоемкой массе на расчетной

схеме модели (рис. 6) соответствует светлый кружок, около которого указаны полная теплоемкость выделенного элемента и его температура: C_M и T_M соответствуют метану, C_1 и T_1 – обечайке лейнера, C_2 , T_2 и C_3 , T_3 – соответственно левому и правому днищам лейнера, C'_1 и T'_1 – армирующему слою на обечайке лейнера, C'_2 , T'_2 и C'_3 , T'_3 – армирующим слоям соответственно на левом и правом днищах лейнера. В C_2 следует включить полную теплоемкость штуцера с наконечником трубопровода, а при наличии штуцера и в правом днище в C_3 должна быть включена полная теплоемкость штуцера с пробкой.

В некоторых вариантах проведения испытания такого баллона на

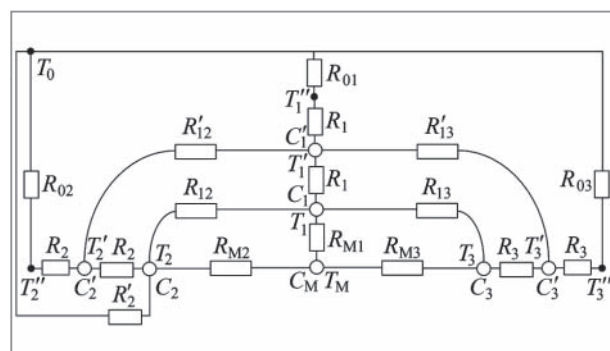


Рис. 6. Расчетная схема тепловой модели баллона третьего конструктивного типа

может быть присоединен аналогичный трубопровод. Отметим, что полная теплоемкость метана $C=c_v m$ зависит от температуры и может существенно изменяться в процессе заполнения или опорожнения баллона в силу изменения массы m , определяемого соотношением (7).

На втором этапе построения модели необходимо вычислить термические сопротивления, связывающие между собой сосредоточенные теплоемкие массы и обозначенные на рис. 6 литерой R . Для тонкостенного лейнера, выполненного, как правило, из достаточно теплопроводных материалов, допустимо пренебречь изменением температуры по его

толщине. Поэтому температуры T_1 , T_2 и T_3 соответствующих сосредоточенных теплоемких масс можно считать совпадающими со средними температурами внутренних поверхностей обечайки лейнера и его днищ. Тогда термические сопротивления R_{M1} , R_{M2} и R_{M3} будут зависеть лишь от интенсивности теплообмена метана с обечайкой лейнера и с его левым и правым днищем соответственно. Теплообмен в замкнутом объеме баллона происходит по механизму естественной конвекции [10], и на его интенсивность влияют разность температур метана и поверхности теплообмена, давление метана и его теплофизические характеристики.

Термические сопротивления R_{01} , R_{02} и R_{03} , связывающие наружные поверхности армирующих слоев с окружающим воздухом, имеющим заданную температуру T_0 (см. рис. 6), которая в общем случае может изменяться во времени, зависят от интенсивности теплообмена на этих поверхностях. Если отсутствует обдув баллона окружающим воздухом, то этот теплообмен также определяется механизмом естественной конвекции, а при наличии такого обдува – механизмом вынужденной конвекции [10]. В обоих случаях на интенсивность теплообмена оказывают влияние температуры поверхностей теплообмена (на рис. 6 это температуры T'_1 , T'_2 и T'_3 наружных поверхностей армирующих слоев соответственно на обечайке лейнера и его левом и правом днищах), отличающиеся от температур T_1 , T_2 и T_3 сосредоточенных теплоемких масс соответствующих армирующих слоев в силу их значительной толщины и низкой теплопроводности композиционного материала.

Термическое сопротивление R'_2 связывает штуцер в левом днище непосредственно с окружающим воздухом через подведенный к баллону трубопровод. Этот трубопровод в тепловом отношении можно представить как достаточно длинный тонкий стержень,

температура торца которого совпадает с температурой T_2 штуцера в левом днище, а на боковой поверхности такого стержня происходит конвективный теплообмен с окружающим воздухом с заданной температурой T_0 .

Остальные термические сопротивления зависят от геометрических размеров элементов конструкции баллона и коэффициентов теплопроводности материала этих элементов. Например, $R_1 = (h'_1/\lambda'_1)/(2\pi(D+h'_1)L)$, где h'_1 – толщина армирующего слоя на наружной поверхности обечайки, λ'_1 – коэффициент теплопроводности армирующего материала, D и L – наружный диаметр обечайки лейнера и ее длина соответственно.

На заключительном этапе построения тепловой модели баллона необходимо составить уравнения теплового баланса для всех выделенных сосредоточенных теплоемких масс. Эти уравнения образуют систему из семи обыкновенных дифференциальных уравнений, принимающую с учетом уравнений (6) и (8) следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} C_M \frac{dT_M}{dt} &= W_*(t) + z(p, T_M)RT_M \dot{m} + \frac{T_1 - T_M}{R_{M1}} + \frac{T_2 - T_M}{R_{M2}} + \frac{T_3 - T_M}{R_{M3}}; \\ C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \frac{T_M - T_1}{R_{M1}} + \frac{T'_1 - T_1}{R_1} + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_1}{R_{13}}; \\ C'_1 \frac{dT'_1}{dt} &= \frac{T_1 - T'_1}{R_1} + \frac{T_0 - T'_1}{R_1 + R_{01}} + \frac{T'_2 - T'_1}{R'_{12}} + \frac{T'_3 - T'_1}{R'_{13}}; \\ C_2 \frac{dT_2}{dt} &= \frac{T_M - T_2}{R_{M2}} + \frac{T_0 - T_2}{R'_2} + \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T'_2 - T_2}{R_2}; \\ C'_2 \frac{dT'_2}{dt} &= \frac{T_2 - T'_2}{R_2} + \frac{T'_1 - T'_2}{R'_{12}} + \frac{T_0 - T'_2}{R_2 + R_{02}}; \\ C_3 \frac{dT_3}{dt} &= \frac{T_M - T_3}{R_{M3}} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T'_3 - T_3}{R_3}; \\ C'_3 \frac{dT'_3}{dt} &= \frac{T_3 - T'_3}{R_3} + \frac{T'_1 - T'_3}{R'_{13}} + \frac{T_0 - T'_3}{R_3 + R_{03}}. \end{aligned} \right\} (9)$$

Для однозначного решения этой системы необходимо в момент времени $t=0$, принимаемый за ноль отсчета, задать начальные значения температур всех семи сосредоточенных теплоемких масс.

Текущее значение температуры наружной поверхности армирующего слоя на обечайке лейнера зависит от текущих значений T_0 и T_1' и равно

$$T_1'' = (T_0 R_1 + T_1' R_{01}) / (R_1 + R_{01}). \quad (10)$$

Аналогично для текущих значений температур наружных поверхностей армирующих слоев на днищах получим

$$T_2'' = (T_0 R_2 + T_2' R_{02}) / (R_2 + R_{02}),$$

$$T_3'' = (T_0 R_3 + T_3' R_{03}) / (R_3 + R_{03}).$$

Баллоны второго конструктивного типа не имеют армирующих слоев на днищах лейнера. Поэтому расчетная схема тепловой модели для баллонов этого типа несколько упрощается (рис. 7). При этом первые два уравнения системы (9) остаются неизменными, и к ним следует добавить еще три уравнения:

$$C_1 \frac{dT_1'}{dt} = \frac{T_1 - T_1'}{R_1} + \frac{T_0 - T_1'}{R_1 + R_{01}};$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_M' - T_2}{R_{M2}} - \frac{T_1' - T_2}{R_{12}} - \frac{T_0' - T_2}{R_2} - \frac{T_0' - T_2}{R_{02}};$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = \frac{T_M - T_3}{R_{M3}} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T_0 - T_3}{R_{03}}.$$

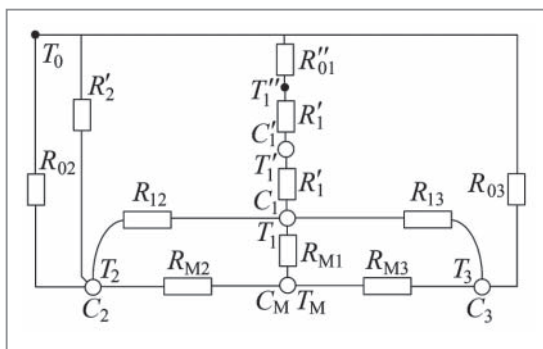


Рис. 7. Расчетная схема тепловой модели баллона второго конструктивного типа

При записи двух последних уравнений принято, что термическим сопротивлением днищ лейнера в направлении

нормали к их поверхности можно пренебречь по сравнению с каждым из термических сопротивлений R_{M2} , R_{12} и R_{02} или R_{M3} , R_{13} и R_{03} , поскольку даже в случае стального лейнера эти термические сопротивления на два порядка больше тех термических сопротивлений, которыми пренебрегают. Для температуры T_1' остается в силе формула (10).

Расчетная схема тепловой модели для баллонов первого конструктивного типа представлена на рис. 8. Для этой модели остается неизменным лишь первое уравнение системы (9), к которому нужно добавить еще три уравнения:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_M - T_1}{R_{M1}} + \frac{T_0 - T_1}{R_{01}} + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_1}{R_{13}};$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_M - T_2}{R_{M2}} + \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T_0 - T_2}{R_2} + \frac{T_0 - T_2}{R_{02}};$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = \frac{T_M - T_3}{R_{M3}} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T_0 - T_3}{R_{03}}.$$

При записи этих уравнений принято, что можно пренебречь термическим сопротивлением не только днищ лейнера, но и его обечайки, которые малы по сравнению с остальными термическими сопротивлениями, отмеченными на рис. 8.

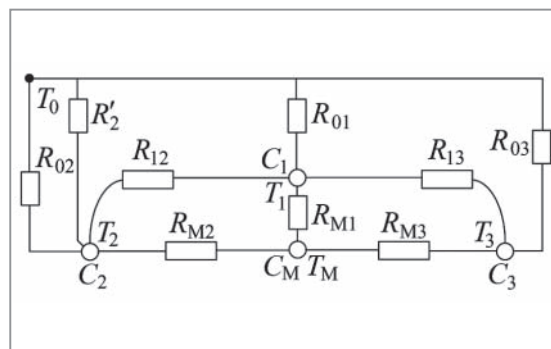


Рис. 8. Расчетная схема тепловой модели баллона первого конструктивного типа

Сравнение известных вариантов уравнений состояния газов показало, что применительно к метану результаты

расчета по этим вариантам дают существенный разброс значений, превосходящий допустимые ограничения, приемлемые при решении инженерных задач. Для получения уточненной зависимости коэффициента сжимаемости метана от его давления и температуры выбран вариант уравнения состояния метана, наиболее близко соответствующий экспериментальным данным. Этот вариант использован также для уточнения зависимостей теплоемкости и энтальпии метана.

Для трех расчетных схем тепловой модели, соответствующих трем рассматриваемым конструктивным типам баллонов, составлены системы дифференциальных уравнений, описывающих

изменение во времени температуры метана, а также температур характерных конструктивных элементов баллона каждого типа. Построенная математическая модель тепловых процессов при основных эксплуатационных режимах баллонов с метаном позволяет количественно проанализировать изменение во времени параметров метана в баллоне каждого из трех основных конструктивных типов с учетом изменения температурного состояния конструкции баллона.

Работа выполнена по гранту НШ-1432.2014.8 программы Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ.

Литература

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
3. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
4. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под общ. ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
5. **Setzmann U., Wagner W.** A new equation of state and tables of thermodynamic properties for methane covering the range from melting line to 625 K at pressures up to 100 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1991. – V. 20. – № 6. – P. 1061–1155.
6. РД 3112194-1095-03. Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. Министерство транспорта РФ. Департамент автомобильного транспорта. – М.: ФГУП НИИАТ, 2002. – 59 с.
7. **Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е.** Техническая термодинамика. – М.: Наука, 1979. – 512 с.
8. **Зарубин В.С.** Математическое моделирование в технике. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 496 с.
9. ГОСТ Р 51753-2001 Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. 01.01.2002. Код ОКС 43.020. Госстандарт России. Москва.
10. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 684 с.

Исследование степени влияния погодных условий на расход КПГ автобусами

М.И. Почукаев, аспирант МАДИ,

Ю.В. Панов, профессор МАДИ, к.т.н.,

В.А. Зенченко, профессор МАДИ, к.т.н.,

В.И. Молчанинов, начальник технического отдела 11-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс»

В статье приведен качественный анализ степени влияния различных факторов на расход КПГ автобусами. Даны результаты исследования влияния погодных условий на расход газа при работе автобусов на городских маршрутах. Результаты представлены в виде графиков и уравнений расхода.

Ключевые слова:

расход газа, природный газ, автобусы, испытания на маршруте, КПГ, погодные условия.

Расширение использования компримированного природного газа (КПГ) на автотранспорте существенно повышает значение нормирования его расхода как важной задачи технической эксплуатации. Действительно, от установленных нормативов напрямую зависит экономическая эффективность внедрения этих топлив.

В работе [1] показано, что процессы расходования жидких и газообразных топлив проходят по-разному, что осложняет выведение коэффициентов для перевода нормативов расхода жидкого топлива в нормативы расхода газа. Это обстоятельство не снижает значимости и необходимости получения различных норм расхода КПГ для вновь поступающих новых моделей подвижного состава.

Следует отметить, что в ряде случаев имеет смысл устанавливать индивидуальные нормы расхода топлива в зависимости от пробега или времени работы транспортного средства, поскольку условия эксплуатации могут меняться, например, для городских автобусов, движущихся по фиксированным маршрутам.

Существует ряд исследований, в которых детально рассматриваются как группы факторов, так и отдельные характерные факторы, оказывающие наибольшее влияние на расход топлива городскими автобусами. Например, это работы Абрамова С.Н. [2], Конины И.В. и Зенченко В.А. [3], Шевченко Л.А. и Травкина В.С. [4], Скреченко Г. [5], Солнцева А.А. [6], Бушуева П.В. [7,8] и другие. В этих исследованиях выделяются следующие факторы:

- конструктивные особенности подвижного состава;
- техническое состояние;
- качество КПГ;
- дорожные условия;

- условия движения;
- метеоусловия;
- транспортные условия;
- квалификация водителя.

Безусловно, все эти факторы оказывают существенное влияние на расход КПП городскими автобусами. Тем не менее установить маршрутные нормы расхода с учетом конструктивных особенностей подвижного состава достаточно сложно, так как подобные нормы не будут универсальными, и каждая новая, принимаемая в эксплуатацию модель автобуса потребует создания новой маршрутной нормы.

Установление норм расхода в зависимости от технического состояния автобуса или квалификации водителя не имеет практического смысла, так как среди целей нормирования выделяются поддержание подвижного состава в исправном состоянии и повышение квалификации водительского состава. Проблематично также установить маршрутные нормы расхода по качеству КПП в связи с ограниченной возможностью осуществления контроля за качеством топлива на АГНКС.

То же самое можно сказать и про дорожные условия. Постоянное их изменение приводит к корректировке установленных норм, что неудобно в эксплуатации.

Для установления маршрутных норм расхода удобными являются условия движения, транспортные и метеорологические условия. Однако исследования Бушуева П.В. [7, 8] показали сравнительно низкую зависимость расхода топлива от изменяющихся транспортных условий. Таким образом, можно предположить, что на сегодняшний день метеорологические условия работы автобусов на маршруте можно считать наиболее удобными и универсальными для установления маршрутных норм расхода КПП.

Факторы этой группы оказывают как непосредственное, так и косвенное влияние на расход топлива. В частности, непосредственное влияние оказывает температура воздуха. Тем не менее, фактически все метеорологические факторы в конечном итоге влияют на расход топлива, так как оказывают непосредственное воздействие на условия движения, дорожные и транспортные условия работы автобуса. Важно еще и то, что факторы этой группы легко регистрируются и не требуют сложной аппаратуры. Кроме того, метеорологические условия изменяются циклически с периодом в один год и могут быть спрогнозированы специалистами, а, следовательно, можно получить прогноз маршрутной нормы, установленной в зависимости от погодных условий. Удобно проводить регистрацию метеоусловий работы автобусов на линии, что делает возможным проведение исследований влияния погодных факторов на расход топлива. При этом если подтвердится существенное влияние этих факторов на расход КПП, возможно получение удобной и универсальной методики нормирования расхода КПП газовыми автобусами.

Для подтверждения гипотезы о влиянии метеорологических факторов на расход КПП специалистами МАДИ и 11-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс» были проведены экспериментальные исследования. Для эксперимента был выбран автобус наиболее распространенной в парке модели ЛиАЗ 5293.7. Для учета влияния температуры воздуха эксперимент проводился тремя этапами: зимой при низких температурах (до -20°C), в межсезонье при околонулевой температуре и в летних условиях (до 35°C). При этом также фиксировались относительная влажность воздуха и атмосферное давление. При расчете расхода КПП учитывалась зависимость между температурами окружающего воздуха и газа в баллонах, описанная в работе [9].

Зависимость расхода КПГ от погодных факторов рассматривалась следующим образом: сначала находилась зависимость между расходом и отдельными конкретными погодными факторами, затем зависимость расхода от пар погодных факторов, действующих одновременно, а затем – от всех погодных факторов, действующих одновременно.

Наличие или отсутствие зависимости между расходом топлива и погодными факторами устанавливалось путем статистической обработки полученных данных. Обработка проводилась в программе Statistica 6.0, позволяющей анализировать большой объем информации. В качестве зависимости между расходом топлива и погодным фактором принималась такая подобранная программой функциональная зависимость, коэффициент корреляции которой с экспериментальными данными был наибольшим.

На рис. 1а графически показана зависимость расхода КПГ от относительной влажности воздуха $Q=f(RH)$. Наибольший коэффициент корреляции $r=0,64$ получается при предположении логарифмической зависимости между параметрами. Было составлено уравнение регрессии

$$Q=27,40114 \ln(RH) - 50,61059, \tag{1}$$

где Q – расход КПГ, $\text{м}^3/100 \text{ км}$; RH – относительная влажность воздуха, %.

Подобный анализ был проделан также для выявления зависимости между расходом КПГ и атмосферным давлением $Q=f(p_a)$, а также между расходом КПГ и температурой воздуха $Q=f(t)$. Графически эти зависимости представлены на рис. 1б,в.

Для зависимостей расхода КПГ от атмосферного давления и температуры воздуха наибольший коэффициент корреляции дают квадратичные степенные зависимости. Были составлены уравнения регрессии для этих зависимостей:

$$Q = -0,0141 p_a^2 + 21,9245 p_a - 8476,4574; \tag{2}$$

$$Q = -0,0050 t^2 - 0,4277 t + 69,1114, \tag{3}$$

где p_a – атмосферное давление, мм рт. ст.; t – температура воздуха, °С.

Коэффициент корреляции зависимости (2) составил $r=0,58$, коэффициент корреляции зависимости (3) составил $r=0,82$. Таким образом, очевидно, что наибольшая корреляционная связь наблюдается между расходом топлива и температурой воздуха, а наименьшая связь – с атмосферным давлением. Пунктиром на графиках обозначены верхние и нижние доверительные границы расхода топлива для заданной доверительной вероятности $\alpha=0,9$.

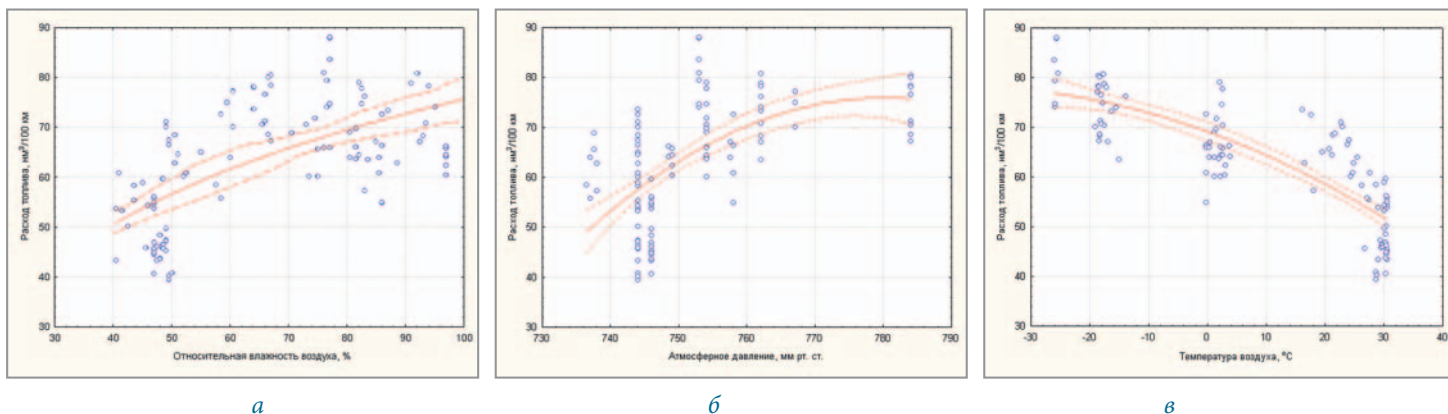


Рис. 1. Зависимость расхода КПГ от относительной влажности воздуха (а), атмосферного давления (б) и температуры воздуха (в)

Значение коэффициента корреляции обуславливает не очень тесную, но заметную корреляционную связь между относительной влажностью воздуха и расходом КПП. Это может быть связано с тем, что при повышении уровня влажности в воздухе увеличивается процент водяного пара, а, следовательно, для полного сгорания газовой смеси требуется несколько большее количество воздуха. Так как количество воздуха, поступающего в цилиндры, не меняется в зависимости от погоды, получаем неполное сгорание смеси и как следствие некоторое увеличение расхода топлива. При этом связь не самая тесная в силу регулировки подачи смеси в цилиндры двигателя автобуса с помощью λ -зонда. То есть смесь в цилиндрах автобуса автоматически поддерживается близкой к стехиометрической, а потому на расход топлива теоретически влажность воздуха влиять не должна. Наличие же некоторой связи объясняется скорее влиянием влажности на дорожные условия и условия движения, которые в свою очередь тесно связаны с расходом топлива.

При увеличении атмосферного давления наблюдается рост расхода КПП автобусами. При этом в области высокого атмосферного давления зависимость расхода КПП от этого фактора практически отсутствует. Данное явление может быть объяснено логически. Высокое атмосферное давление, как правило, соответствует солнечной и ясной погоде (независимо от температуры окружающего воздуха). При этом условия движения наиболее благоприятствуют экономичной езде, равно как и дорожные условия. Пример: в сухую погоду лучше сцепление шин с дорогой, следовательно, выше скорость движения автомобилей, больше пропускная способность дороги, ниже вероятность образования пробок. Увеличение расхода топлива с ростом атмосферного давления по всей вероятности связано с тем, что наполняемость цилиндров воздухом при большем атмосферном давлении выше, при этом электронная система управления двигателем стремится к созданию стехиометрической смеси в цилиндрах двигателя. Таким образом, большему количеству воздуха соответствует большее количество топлива, что и отражается на некотором повышении расхода КПП.

Также подобное изменение расхода топлива на графике связано с высокими значениями атмосферного давления в зимние морозные дни (см. рис. 1б). Это подтверждается и на рис. 1в, где видно, что с понижением температуры расход топлива растет. При более низких температурах ухудшаются условия движения и дорожные условия, изменяются свойства автомобильных эксплуатационных материалов, вследствие чего дополнительно повышается сопротивление движению автобуса. При наиболее низких температурах к расходу топлива на движение прибавляется расход топлива на работу автономного отопителя.

Тем не менее, важно также знать высокую степень связи расхода КПП с несколькими действующими погодными факторами одновременно.

Зависимости расхода КПП от пар действующих факторов $Q=f(RH, p_a)$, $Q=f(RH, t)$ и $Q=f(p_a, t)$ также можно представить графически в виде объемных поверхностей (рис. 2а, б, в).

Для всех трех зависимостей были составлены уравнения регрессии и определены коэффициенты корреляции:

$$Q = 0,0016p_a^2 - 0,0166RH^2 + 0,005RHp_a + 2,278p_a - 1,1471RH - 862,2654; \quad (4)$$

$$Q = -0,0071t^2 - 0,0061RH^2 - 0,0008RHt - 0,3601t + 0,781RH + 45,5818; \quad (5)$$

$$Q = 0,0129p_a^2 - 0,0069t^2 - 0,0032tp_a + 1,8038t - 20,0394p_a + 7826,8224. \quad (6)$$

Коэффициенты корреляции зависимости расхода от следующих факторов влияния составили соответственно: от влажности и давления $r=0,75$, от влажности

и температуры $r=0,83$, от давления и температуры $r=0,85$. Таким образом, видно, что двухфакторные зависимости расхода КПГ от погодных условий в любом случае дают более тесные связи, чем однофакторные. Наибольшая корреляционная связь наблюдается при рассмотрении зависимости расхода КПГ от атмосферного давления и температуры воздуха.

Зависимости, изображенные поверхностями на рис. 2а,б,в, в целом подтверждаются графиками на рис. 1а,б,в, однако интересно отметить (см. рис. 2а), что при низкой влажности воздуха атмосферное давление практически не влияет на расход топлива, а при высокой влажности его влияние увеличивается. Минимум расхода топлива наблюдается при наибольших значениях температуры и давления (см. рис. 2в), то есть в ясные летние дни, когда автобус работает в оптимальном режиме при наиболее благоприятных дорожных условиях и условиях движения.

В заключение был проведен трехфакторный анализ зависимости расхода КПГ от погодных условий $Q=f(RH, p_a, t)$. Результаты этого анализа невозможно представить графически, однако было составлено уравнение регрессии и определен коэффициент корреляции для этой зависимости.

$$Q = -1,98255RH - 0,00302RH^2 - 39,26720p_a + 0,02531p_a^2 - 3,68899t - 0,02277t^2 + 0,00282RHp_a - 0,01145RHt + 0,00481p_a t + 15294,64745. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции трехпараметрической модели расхода КПГ составил $r=0,87$, то есть максимальный из всех полученных. Следовательно, при рассмотрении зависимости расхода газа от погодных условий следует учитывать все погодные факторы одновременно, в крайнем случае допустимо оценивать расход КПГ по зависимостям от температуры и давления или от температуры и влажности, в этом случае результат также будет близок к истине.

Все зависимости проверены на статистическую значимость по критериям Стьюдента и Фишера. Было установлено, что зависимости статистически значимы и неслучайны.

Предложенный способ определения расхода КПГ по известным значениям погодных факторов может быть очень удобен для целей нормирования расхода топлива. Погодные условия не зависят от типа подвижного состава, его технического состояния и квалификации водителя, однако оказывают влияние на условия движения и транспортные условия эксплуатации автобусов, что приводит к достаточно тесной связи погодных параметров с расходом газа. Интересен также момент прогнозирования расхода топлива газовыми автобусами по данным метеорологов.

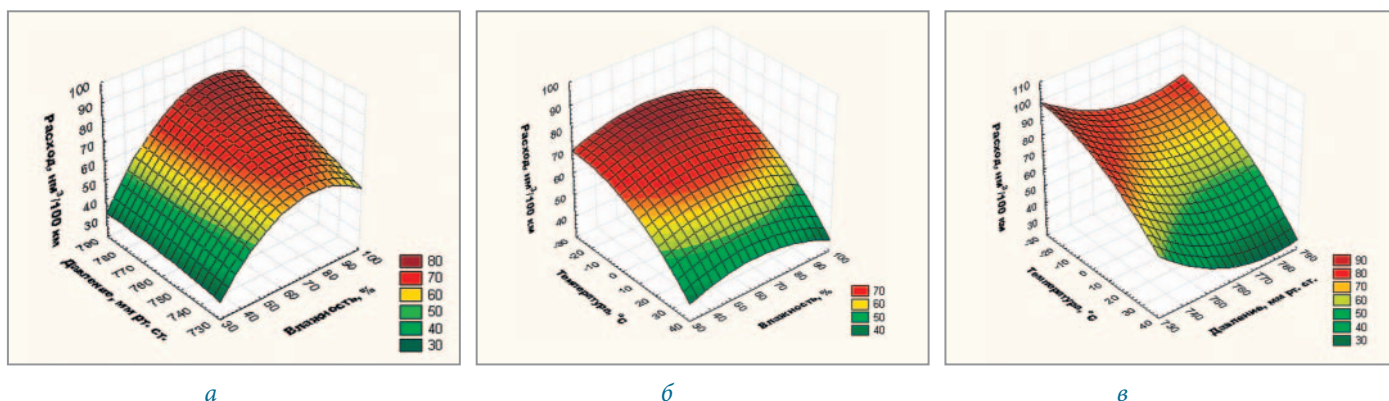


Рис. 2. Зависимость расхода КПГ от относительной влажности и атмосферного давления (а), от относительной влажности и температуры воздуха (б) и от атмосферного давления и температуры воздуха (в)

Такой прогноз поможет предприятиям, эксплуатирующим газовые автобусы, более точно планировать собственные расходы, а, следовательно, повысить эффективность эксплуатации подвижного состава.

Литература

19

1. **Лукшо В.А., Миронов М.В.** Экономическая эффективность использования КПП как моторного топлива на транспортных средствах с дизельными силовыми установками // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 2. – С. 20-26.

2. **Абрамов С.Н.** Опыт нормирования и корректирования расхода топлива при маршрутных перевозках пассажиров / Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. Сер.5, Пассажирыские перевозки автомот. трансп. Вып. 1. – М., 1983. – 42 с.

3. **Конин И.В., Зенченко В.А.** Результаты первых эксплуатационных испытаний в г. Москве автобуса большого класса «Волжанин» с двигателем MAN D0826LON07. – М.: МАДИ(ГТУ), 1999. – 37 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 02.12.99, № 3575-В 99.

4. Методика нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте НИИ планирования и нормативов; [Разраб. Шевченко Л. А., Травкин В. С.] . – М.: НИИ-ПИН, 1983. – 47 с.

5. **Скречко Г.** Пути повышения экономичности автобусов // Автомобильный транспорт. – 1989. – №3. – С. 35-38.

6. **Солнцев А.А.** Методические основы корректирования нормативов эксплуатационных расходов городских автобусов с учетом особенностей работы на маршруте: Дисс. канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 1998. – 144 с. и ил.

7. **Бушуев П.В., Панов Ю.В., Зенченко В.А., Назаров А.А.** Современные методы оценки расхода газового топлива городскими автобусами // Автотранспортное предприятие. – 2007. – №4. – С. 29-34.

8. **Бушуев П.В.** Разработка методики нормирования расхода КПП городскими автобусами, оснащенными электронной системой управления двигателем: Дисс. канд. техн. наук. – М.: МАДИ (ГТУ), 2007.

9. **Почукаев М.И., Молчанинов В.И., Панов Ю.В., Назаров А.А.** Влияние температуры баллонов на расход КПП по остаточному давлению // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 6. – С. 26-29.

Форум «Автотранспорт на газомоторном топливе в России»

27 ноября 2014 г. состоится форум

«Автотранспорт на газомоторном топливе в России».

Он пройдет в **Марriott Гранд Отель, ул. Тверская, 26/1, Москва.**

Программа мероприятия включает следующее:

- доклады представителей высшего руководства компаний-поставщиков топлива, автопроизводителей, перевозчиков, организаций и государственных ведомств, вовлеченных в рынок ГМТ;

- выступления, освещающие политику государства, стратегию компаний и практические примеры от лидеров сектора, позволяющие участникам принять правильные решения для своего бизнеса;

- деловое общение, являющееся одним из главных условий поиска новых партнеров в зарождающемся секторе ГМТ.

Подробнее о **форуме «Автотранспорт на газомоторном топливе в России»** можно узнать на сайте www.ngvrussia.com.

Контакты:

+44 20 7017 7444

+7 495 232 68 52

events@adamsmithconferences.com

В России предлагают создать метановую ракету

Крупнейший в России производитель ракетной техники – самарское ЦСКБ «Прогресс» – представило свое видение перспективного носителя сверхтяжелого класса. Самарцы выдвигают оригинальную идею создать метановую ракету-носитель, все двигатели которой будут работать на сжиженном природном газе (СПГ).



«Средства выведения сверхтяжелого класса предлагается создавать с использованием двигателей на компонентах топлива «СПГ + жидкий кислород», – говорится в материалах ЦСКБ, представленных в Роскосмос.

Такое горючее является перспективным, активно осваивается другими отраслями промышленности, обладает более широкой сырьевой базой по сравнению с керосином и низкой стоимостью, что является важным моментом с учетом срока создания и планируемого периода эксплуатации комплекса, а также прогнозируемых проблем производства керосина через 30-50 лет, утверждают разработчики.

В ЦСКБ понимают, о чем говорят, когда упоминают проблемы производства керосина. Ракеты «Союз», которые делают в Самаре, сейчас летают на искусственном топливе, потому что изначально для создания керосина для этих ракет использовались только определенные сорта нефти из конкретных скважин. В основном это нефть Анастасиевско-Троицкого месторождения в Краснодарском крае. Но нефтяные скважины истощаются, и ныне используемый керосин является композицией, составленной из продуктов нескольких скважин. По оценкам экспертов, проблема дефицита здесь будет только усугубляться.

«Использование двигателей на СПГ позволит обеспечить относительно низкую стоимость пуска – в 1,5-2 раза ниже, чем на керосиновых двигателях, высокую экологичность, более высокие удельные характеристики, единый тип двигателя и топлива «СПГ + жидкий кислород», что значительно упростит наземную инфраструктуру», – говорится в обосновании концепции от ЦСКБ.

Возможность использования метана в качестве ракетного топлива рассматривается уже на протяжении десятков лет, однако сейчас есть только стендовые варианты и экспериментальные образцы таких двигателей. Например, в химкинском НПО «Энергомаш» исследования в части использования сжиженного газа в двигателях велись с 1981 г. Прорабатываемая сейчас в Энергомаше концепция предусматривает разработку однокамерного двигателя тягой в 200 т на топливе «жидкий кислород – сжиженный метан» для первой ступени перспективного носителя легкого класса.

– Удельный импульс у двигателя на СПГ высокий, но это преимущество нивелируется тем, что у метанового топлива меньшая плотность, поэтому в сумме получается незначительное энергетическое преимущество, – объясняет главный конструктор НПО «Энергомаш» Владимир Чванов. – С конструкционной точки зрения метан привлекателен. Чтобы освободить полости двигателя, нужно только пройти цикл испарения – то есть двигатель легче освобождается от остатков продуктов. За счет этого метановое топливо более приемлемо с точки зрения создания двигателя и летательного аппарата многократного применения, – говорит он.

В Роскосмосе пока официально не комментируют представленную концепцию «метановой ракеты», отмечая, что все предложения в Федеральную космическую программу должны пройти экспертизу.

Есть у «СПГ для космоса» не только сторонники, но и противники. Среди контраргументов называют и то, что пуски ракет осуществляются относительно редко. Поэтому, мол, ни ощутимой экономии, ни экологической пользы от метановых двигателей не будет. А вот проиграть соревнование за сверхтяжелую ракету-носитель для пилотируемых экспедиций в дальний космос из-за отвлечения ресурсов и потери времени Россия, якобы, рискует. Возможно. Однако при этом не нужно забывать о работах, которые уже не один год ведутся за рубежом с целью создания такого носителя для экспедиции на Марс. Среди привлекательных сторон СПГ называют также и то, что метан есть в атмосфере Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Значит, со временем там можно построить «газовую заправку».

<http://izvestia.ru/news/570880>. Фото: samspace.ru

Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции

В.А. Лиханов, профессор, зав. кафедрой ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА», д.т.н.,
О.П. Лопатин, доцент кафедры ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА», к.т.н.

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования тракторного дизеля Д-240 (4Ч 11,0/12,5) для улучшения экологических показателей путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов (ОГ). На основании проведенных лабораторно-стендовых исследований рабочего процесса тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,50 на природном газе с рециркуляцией установлена возможность улучшения его экологических показателей, в частности, снижения оксидов азота в ОГ, экономии дизельного топлива, повышения эффективных показателей.

Ключевые слова:

дизель, дизельное топливо, природный газ, рециркуляция отработавших газов, отработавшие газы, токсичность, оксиды азота.

Экспериментальная тормозная установка включала электро-тормозной стенд SAK-N670 с балансирной маятниковой машиной, дизель 4Ч 11,0/12,5, измерительную аппаратуру, газобаллонное оборудование, систему рециркуляции ОГ. Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля на различных режимах осуществлялась с помощью ПЭВМ по программе ЦНИДИ-ЦНИИМ. Отбор и анализ проб ОГ проводился на автоматической системе газового анализа АСГА-Т. Для проведения стендовых испытаний на природном газе была использована передвижная заправочная станция на базе тракторного прицепа 2ПТС-4

и газобаллонного оборудования автомобиля ЗИЛ-138А [1].

Принципиальная схема дизеля при работе на КПГ (20 % запальная порция ДТ, 80 % природный газ) с рециркуляцией ОГ представлена на рис. 1.

Индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 представлены на рис. 2. На графиках видно, что при работе по газодизельному процессу с рециркуляцией ОГ увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения, снижается максимальное давление газов в цилиндре. При работе газодизеля с 10%-ной рециркуляцией ОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет $p_{\max}=8,2$ МПа, при газодизельном

процессе $p_{\max}=8,5$ МПа, при дизельном процессе $p_{\max}=8,1$ МПа. Применение 20%-ной рециркуляции ОГ на газодизеле приводит к повышению периода задержки воспламенения, а 10%-ная рециркуляция практически оставляет период задержки воспламенения на уровне чисто газодизельного процесса. С увеличением степени рециркуляции уменьшается угол наклона кривой давления, что свидетельствует о снижении жесткости процесса сгорания.

Графики объемного содержания оксидов азота, усредненной температуры газов, динамики выделения теплоты, скорости ее отвода и полезного выделения в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала представлены на рис. 3. На графиках видно, что максимальное содержание оксидов азота в цилиндре следует

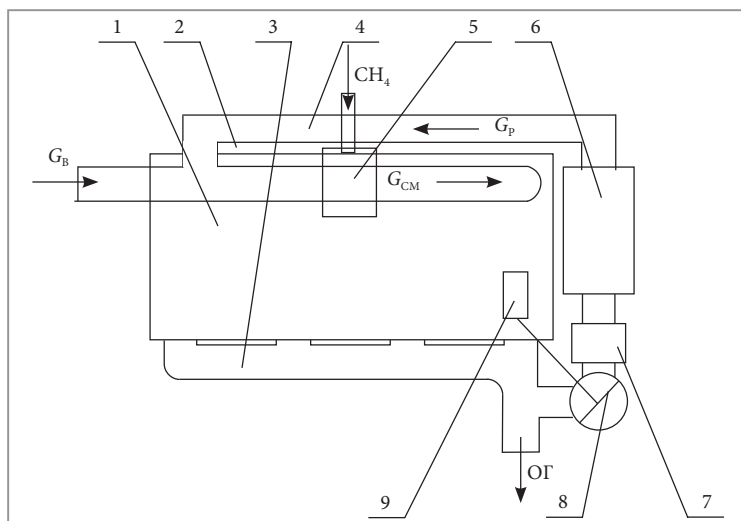


Рис. 1. Принципиальная схема дизеля при работе на КПГ (20 % запальная порция ДТ, 80 % природный газ) с рециркуляцией ОГ: 1 – дизель; 2 – впускной коллектор; 3 – выпускной коллектор; 4 – рециркуляционный трубопровод; 5 – газовый смеситель; 6 – охладитель рециркулируемых газов; 7 – искрогаситель; 8 – заслонка; 9 – привод; G_v – массовый расход воздуха; $G_{см}$ – массовый расход топливовоздушной смеси; G_p – массовый расход рециркулируемых газов

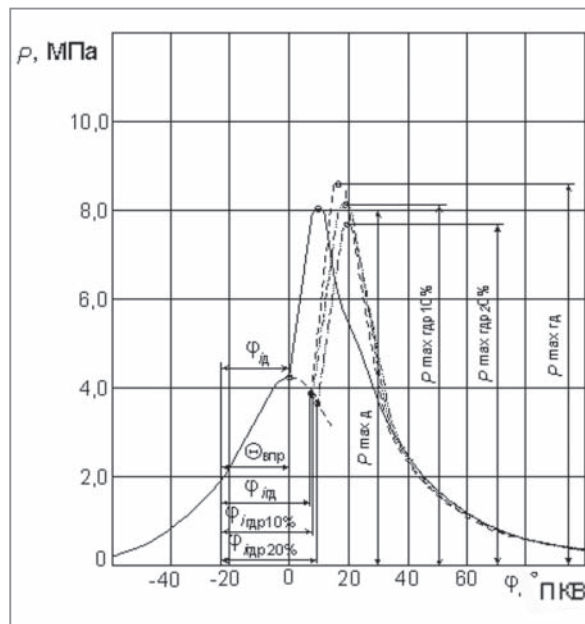


Рис. 2. Влияние применения природного газа и рециркуляции ОГ на индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $n=2200$ мин⁻¹, $p_c=0,64$ МПа и $\Theta_{впр}=23$ °ПКВ: $\Theta_{впр}$ – угол опережения впрыскивания топлива; $\Phi_{ид}$ – угол поворота коленчатого вала при дизельном процессе; $\Phi_{гд}$ – угол поворота коленчатого вала при газодизельном процессе; $\Phi_{гдр\ 10\%}$ – угол поворота коленчатого вала при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ; $\Phi_{гдр\ 20\%}$ – угол поворота коленчатого вала при газодизельном процессе с 20%-ной РОГ; $p_{\max\ д}$ – максимальное давление сгорания в цилиндре при дизельном процессе; $p_{\max\ гд}$ – максимальное давление сгорания в цилиндре при газодизельном процессе; $p_{\max\ гдр\ 10\%}$ – максимальное давление сгорания в цилиндре при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ; $p_{\max\ гдр\ 20\%}$ – максимальное давление сгорания в цилиндре при газодизельном процессе с 20%-ной РОГ; ————— дизельный процесс; - - - газодизельный процесс; - · - · - газодизельный процесс с 10%-ной рециркуляцией ОГ; - - - - газодизельный процесс с 20%-ной рециркуляцией ОГ

сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышая их содержание в ОГ, и увеличивается с ростом максимальной температуры цикла. Так, при работе по газодизельному процессу с 20%-ной рециркуляцией ОГ максимальное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 0,16 %, что ниже на 29,8 и 8,6 % соответственно, чем при газодизельном и дизельном процессах, но выше на 53,1 % содержания оксидов азота в ОГ на этом же режиме. Это говорит о том, что с уменьшением температуры происходит активное снижение содержания оксидов азота [2].

При работе по газодизельному процессу с рециркуляцией ОГ уменьшается скорость активного выделения теплоты. Для этого процесса характерно уменьшение усредненной температуры газов в цилиндре, смещение максимального значения в сторону от ВМТ. При работе газодизеля с 10%-ной рециркуляцией на номинальном режиме происходит снижение максимальной усредненной температуры газов в цилиндре с 3000 К при чисто газодизельном процессе до 2850 К. При работе газодизеля с 20%-ной рециркуляцией максимальной усредненной температуры составляет 2700 К, что ниже на 300 К.

Характеристики тепловыделения и содержания оксидов азота в зависимости от изменения нагрузки в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 представлены на рис. 4. На графиках видно, что применение рециркуляции ОГ снижает содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля во всем диапазоне нагрузок. При работе по газодизельному процессу с 40%-ной рециркуляцией в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит уменьшение содержания оксидов азота от 45,0 до 57,6 %.

Значения активного выделения теплоты при максимальных давлении, температуре или скорости тепловыделения при работе по газодизельному процессу уменьшаются с увеличением степени рециркуляции во всем

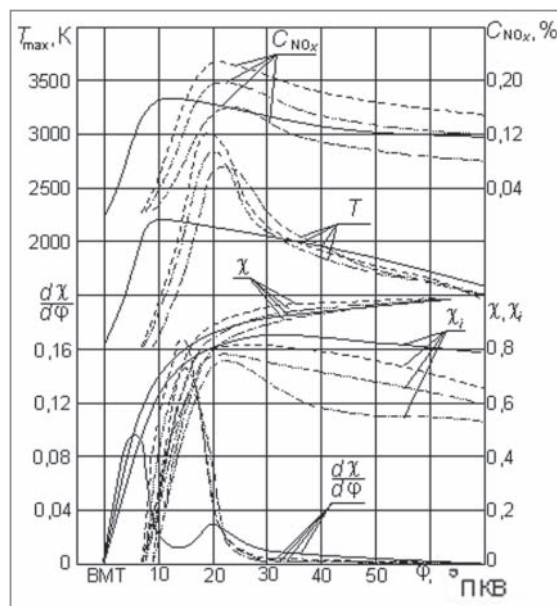


Рис. 3. Влияние природного газа и рециркуляции ОГ на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла ПКВ двигателя при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e=0,64 \text{ МПа}$ и $\Theta_{\text{впр}}=23 \text{ °ПКВ}$:

C_{NO_x} – концентрация оксидов азота в цилиндре; χ – относительное тепловыделение от сгорания топлива; χ_i – активное тепловыделение; $d\chi/d\phi$ – относительная скорость активного тепловыделения; T – усредненная температура цикла в цилиндре;
 ————— дизельный процесс;
 - - - газодизельный процесс;
 —·—·— газодизельный процесс с 10%-ной рециркуляцией ОГ;
 ——— газодизельный процесс с 20%-ной рециркуляцией ОГ

диапазоне изменения нагрузок. Значения $\phi_{T_{\text{max}}}$ на всех нагрузочных режимах с ростом степени рециркуляции ОГ увеличиваются по отношению к чисто газодизельному процессу.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки представлено на рис. 5. На графиках видно, что применение КПГ в дизеле 4Ч 11,0/12,5 приводит к увеличению содержания оксидов азота в ОГ. Так, на номинальном режиме

работы это увеличение составляет 24,1 %, а при $p_e=0,13$ МПа выброс оксидов азота увеличивается на 60,5 %. Применение рециркуляции снижает содержание оксидов азота в ОГ во всем диапазоне нагрузок.

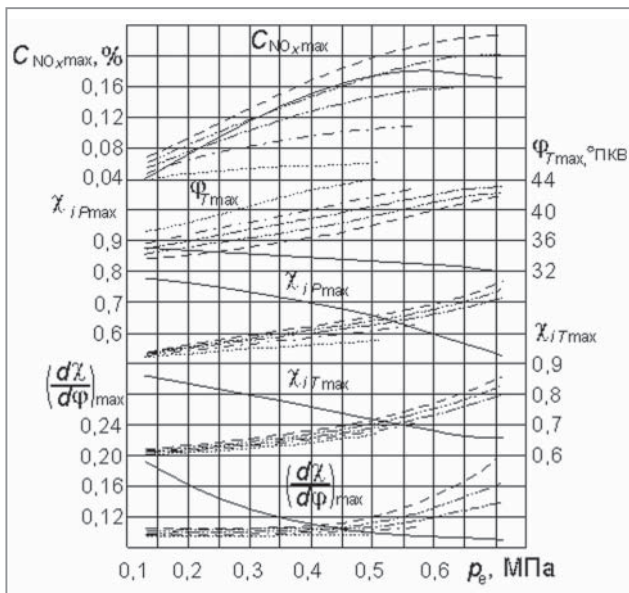


Рис. 4. Влияние природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}}=23^\circ\text{ПКВ}$: $C_{\text{NOx max}}$ – максимальная концентрация оксидов азота в цилиндре;

- $\phi_{T\text{max}}$ – угол поворота коленчатого вала при максимальной температуре цикла;
- $\chi_{i P\text{max}}$ – активное тепловыделение при максимальном давлении;
- $\chi_{i T\text{max}}$ – активное тепловыделение при максимальной температуре цикла;
- $(d\chi/d\phi)_{\text{max}}$ – максимальная относительная скорость активного тепловыделения;
- — — — — дизельный процесс;
- - - - - газодизельный процесс;
- · - · - · - газодизельный процесс с 10%-ной рециркуляцией;
- · · - · · - газодизельный процесс с 20%-ной рециркуляцией;
- · · · - · · · газодизельный процесс с 30%-ной рециркуляцией;
- · · · · - · · · газодизельный процесс с 40%-ной рециркуляцией

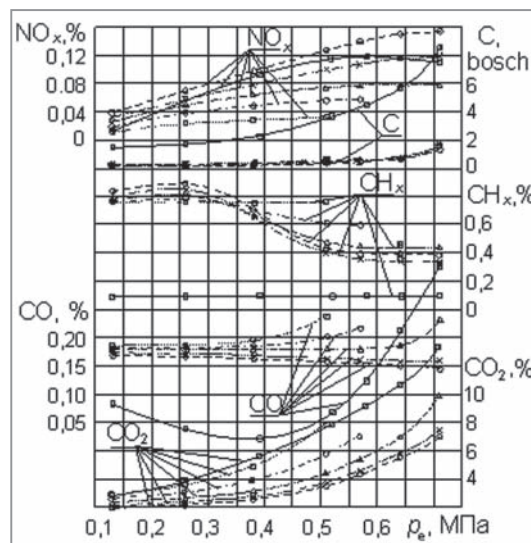


Рис. 5. Влияние природного газа и рециркуляции ОГ на показатели токсичности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}}=23^\circ\text{ПКВ}$;
 □ — — — — □ дизельный процесс;
 ○ - - - - ○ газодизельный процесс;
 × - · - · - × газодизельный процесс с 10%-ной рециркуляцией;
 △ - · - · - △ газодизельный процесс с 20%-ной рециркуляцией;
 ○ - · - · - ○ газодизельный процесс с 30%-ной рециркуляцией;
 □ - · - · - □ газодизельный процесс с 40%-ной рециркуляцией

При работе по газодизельному процессу с 40%-ной рециркуляцией ОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение NO_x на 63,4 %. При работе газодизеля на номинальном режиме с 10%-ной рециркуляцией содержание NO_x в ОГ ниже на 24,1 % в сравнении с газодизельным процессом и соответствует дизельному процессу.

Применение рециркуляции неоднозначно влияет на содержание суммарных углеводородов в ОГ. Так, при работе газодизеля с 40%-ной рециркуляцией на малых нагрузках от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение содержания СН на 8,7...14,5 %, но при $p_e=0,51$ МПа происходит увеличение на 42,5 %. При работе на номинальном режиме с 10%-ной

рециркуляцией содержание СН снижается на 9,9 %, а при увеличении степени рециркуляции до 20 % выброс СН с ОГ увеличивается на 10,2 % относительно чисто газодизельного процесса. Необходимо отметить, что значительный рост суммарных углеводородов на больших нагрузках обусловлен неполнотой сгорания топлива в условиях недостатка окислителя с увеличением степени рециркуляции.

Существенно снижается в отработавших газах содержание сажи при работе по газодизельному процессу. Влияние рециркуляции на содержание этого компонента в ОГ газодизеля незначительное.

Применение рециркуляции на газодизеле приводит к незначительному росту CO и CO₂ во всем диапазоне изменения нагрузок. Так, при работе с 10%-ной рециркуляцией на номинальной нагрузке увеличение составляет 6,3 и 5,1 % для CO и CO₂ соответственно.

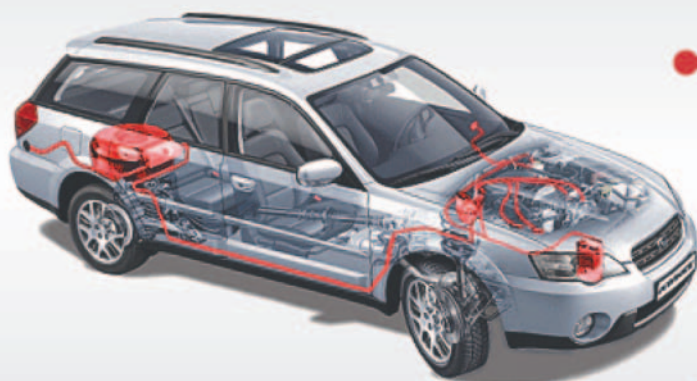
Подводя краткие итоги по влиянию применения природного газа и охлаждаемой рециркуляции ОГ на дизеле 4Ч 11,0/12,5 можно отметить, что на номинальном режиме работы необходимо снижать степень рециркуляции до 10 %, а на малых нагрузках можно увеличивать ее до 40 %. Использование данной закономерности подачи рециркулируемых газов и КПП позволяет снизить содержание оксидов азота и суммарных углеводородов.

Литература

1. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей путем применения альтернативных видов топлива: Монография. – Киров: Вятская ГСХА, 2009. – 500 с.
2. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 1. – С. 11-13.

БАЛСИТИ

ООО «Балсити» – ведущий производитель автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа, занимающий лидирующую позицию на российском рынке. Компания является эксклюзивным поставщиком газовых баллонов на конвейер Горьковского автомобильного завода (ГАЗ).



г.Москва, 119071, Ленинский проспект 29,
офис № 628 +7 (495) 955-41-95
balcity@balcity.ru www.balcity.ru

ПРОДУКЦИЯ:

АВТОМОБИЛЬНЫЕ БАЛЛОНЫ ДЛЯ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА:

Тороидальные и спаренные баллоны – от 42 до 95 л.
Цилиндрические баллоны – от 30 до 220 л.
Газгольдер: 480 л.



На предприятии компании внедрена и действует система менеджмента качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ISO 9001-2008). Баллоны сертифицированы по Международным правилам ЕЭК ООН № 67-01 с дополнениями 1-9, а также на соответствие требованиям Технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств».

Теплогидравлическая оптимизация авиационной криогенной топливной системы, использующей переохлажденный пропан

В.В. Разносчиков, доцент, старший научный сотрудник ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», к.т.н.,

В.В. Загумённый, старший инженер-испытатель научно-испытательного управления ГЛИЦ им. В.П. Чкалова,

И.А. Демская, инженер ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

В статье приводится описание последовательности расчета оптимальных параметров авиационных криогенных топливных систем. Дан пример расчета параметров топливной системы перспективного самолета типа Ту-204К, использующей переохлажденный пропан.

Ключевые слова:

криогенная топливная система, перспективный самолет, Ту-204К.

Как известно, эффективность авиационной техники определяется не только техническим совершенством силовых установок, оборудования и планера летательного аппарата (ЛА), но и свойствами топлива, на котором работает силовая установка (СУ). Поэтому одна из главных проблем формирования облика перспективной авиационной и аэрокосмической техники – это выбор приоритетного для нее топлива. К основным требованиям, предъявляемым к перспективным топливам будущего, относятся, в первую очередь, большие сырьевые запасы, низкая себестоимость, высокие теплофизические свойства и экологичность.

Очевидно, что керосин, который является продуктом переработки нефти, данным требованиям удовлетворяет не в полной мере. Эксперты международ-

ного энергетического агентства пришли к выводу, что уровень добычи нефти подошел к своему наивысшему пределу, в результате чего ее запасы будут либо исчерпаны, либо существенно уменьшены во всех странах уже в первой половине нынешнего века [1]. Это повлечет рост цен на керосин (впрочем, этому факту мы являемся свидетелями в течение последних лет). По этой причине в ряде развитых стран активно ведутся работы по получению авиатоплива из альтернативных источников: твердых и газообразных углеводородов, а также из биомассы.

Все большее внимание исследователей привлекают криогенные топлива: жидкий водород, сжиженный природный газ (СПГ), в основном состоящий из метана, и криогенный пропан. Эти топлива экологически более чистые, чем традиционные авиакеросины, и имеют лучшие

теплофизические свойства (таблица) – большую теплотворность, хладоресурс и газовую постоянную, которая определяет работоспособность газифицированного криотоплива [2]. Это дает потенциальную возможность получить высокие летно-технические характеристики перспективных ЛА. Причем водород в этом отношении значительно превосходит СПГ и пропан [3].

Однако, проводя анализ перспективных авиационных топлив, необходимо учитывать и то, что температурный диапазон жидкой фазы пропана, метана и особенно водорода (см. таблицу) лежит значительно ниже эксплуатационного, что является причиной необходимости применения криогенной технологии хранения и использования данных топлив на борту ЛА.

При этом в случае использования водорода в качестве авиационного топлива требования к теплоизоляции будут наиболее жесткими, так как он имеет самую низкую температуру кипения, а температурный диапазон существования его жидкой фазы составляет всего 6 К (см. таблицу). Это ведет к увеличению массы теплоизоляционных конструкций, усложняет технологию их производства и эксплуатации.

Помимо низкой температуры, СПГ и особенно жидкий водород имеют очень низкую плотность, что, несмотря

на высокую теплотворность, сильно снижает их энергоемкость в сравнении с традиционными авиакеросинами (см. таблицу).

Уменьшение энергоемкости применяемого топлива требует увеличения объема топливных баков, что отрицательно сказывается на габаритно-массовых характеристиках и эффективности ЛА в целом. Увеличение плотности СПГ и водорода за счет понижения температуры не дает требуемого эффекта из-за узкого температурного диапазона существования их жидкой фазы (см. таблицу). В результате выгода от перехода на СПГ и жидкий водород может быть получена, если для повышения экономичности СУ в ее работе в полной мере будут использованы хладоресурс и работоспособность данных топлив. Но для разработки таких СУ, а также для создания необходимой инфраструктуры потребуются время и значительные средства.

В этом случае наиболее удобным является применение пропана, температурный диапазон жидкой фазы которого при давлении 0,1 МПа составляет 144 К (см. таблицу), а плотность уже при температуре кипения – 580 кг/м³. Охладив пропан до температуры плавления, можно увеличить его плотность до 730 кг/м³, то есть на 25 % (рис. 1). Пропан в этом случае является переохлажденной жидкостью и при

Основные свойства топлив

Показатель	Значение			
	ТС-1*	СПГ	Водород	Пропан
Плотность, кг/м ³ при температуре, К	778,6 288	424,7 111	71,5 20	580,0 230
Теплотворная способность (низшая), МДж/кг	43,5	50,0	120,0	45,9
Энергоемкость, МДж/м ³	33855	21100	8450	26620
Хладоресурс, кДж/кг	1330	2830	13030	3180
Газовая постоянная, Дж/кгК	57,42	518,26	4124,42	115,24
Температурный диапазон существования жидкой фазы, К, при давлении 0,1 МПа	213...423	91...111	14...20	86...230

* ТС-1 – авиакеросин.

криогенных температурах сравнивается по энергоемкости с авиакеросином марки ТС-1. При этом потребный объем топливных баков уменьшается в 1,5 раза по сравнению с СПГ и в 4 раза по сравнению с жидким водородом.

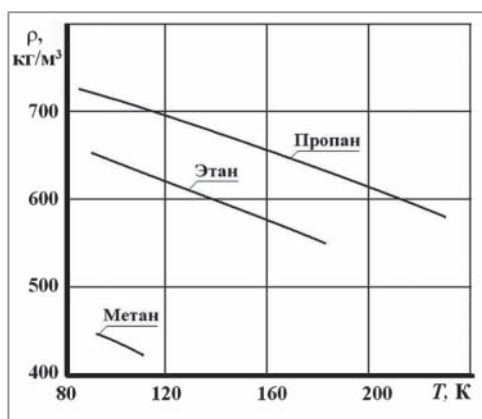


Рис. 1. Плотность жидких топлив при давлении 0,1 МПа

Таким образом, один из путей перехода авиации на криогенное топливо можно видеть в поэтапном переводе авиационной техники сначала на криогенный пропан, который имеет наименьшую стоимость, а, главное, не требует огромных затрат на разработку новых СУ (достаточно только модернизации уже существующих, в том числе с применением двухтопливной системы), а потом на СПГ и жидкий водород. Кроме этого, на пропане могут быть легче отработаны новые криогенные технологии и технические средства наземного обслуживания самолетов, а также приобретен опыт эксплуатации криогенной техники на объектах менее сложных, чем криогенные водородные летательные аппараты.

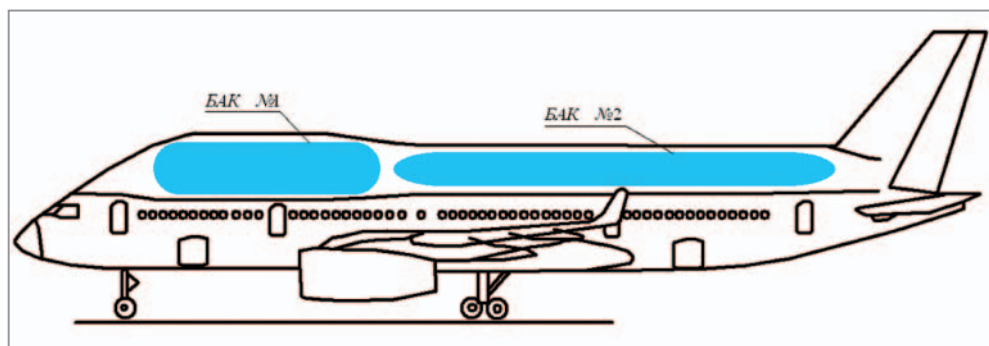
Очевидно, что для перевода авиации на криогенный пропан необходимо решить ряд задач, одна из которых – проектирование криогенной топливной системы (КТС) самолета, которая в силу особых свойств криотоплива будет во многом отличаться от топливной системы на авиакеросине. КТС, применяе-

мые в ракетно-космических аппаратах, не в полной мере отвечают требованиям авиационных топливных систем, обусловленным особенностями эксплуатации – многорежимностью, воздействием отрицательных перегрузок и большой продолжительностью работы [4]. Методики расчета и проектирования авиационных КТС практически не описаны в специальной литературе, поэтому ввиду перспективности использования криотоплива в России и других странах их разработка является актуальной задачей.

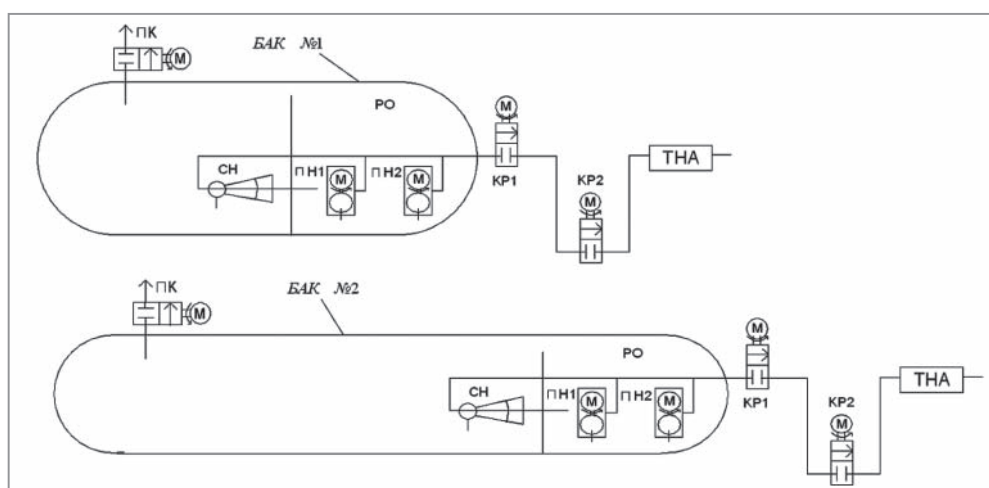
Проектирование криогенной топливной системы самолета

На рис. 2 представлены внешний вид одного из вариантов грузопассажирского самолета на криогенном топливе (а) и схема его КТС (б). Помимо криогенного топливного бака (КТБ) и трубопровода с теплоизоляционным покрытием, в состав КТС (рис. 2б) входят подкачивающий шнекоцентробежный насос (ПН), расположенный в расходном отсеке КТБ, и струйный насос (СН). ПН предназначен для непрерывной подачи топлива к турбонасосному агрегату двигателя с требуемым расходом и кавитационным запасом, обеспечивающим надежную работу этого агрегата. СН обеспечивает устойчивую бескавитационную работу ПН за счет поддержания заданного уровня жидкости в расходном отсеке на всех режимах работы.

В конструкции криобака предусмотрен предохранительный клапан, через который производится выброс пара при достижении максимально допустимого (по условиям прочности) давления в баке. Параметры КТС считаются оптимальными, если в заданных условиях эксплуатации потери топлива через ПК (в результате нагрева) отсутствуют. При этом габариты и масса топливной системы, включая массу невырабатываемого остатка топлива в расходном отсеке, остаются минимальными.



a



б

Рис. 2. Внешний вид самолета на криогенном топливе (а) и схема криогенной топливной системы самолета (б), включающей два топливных бака:

ПН – подкачивающий шнекоцентробежный насос; РО – расходный отсек; СН – струйный насос; ТНА – турбонасосный агрегат; ПК – предохранительный клапан

Исследования показывают, что основными способами снижения тепловых потоков в КТС являются:

- применение теплоизоляционных материалов с минимальной теплопроводностью;
- увеличение толщины теплоизоляции;
- уменьшение тепловыделения в КТС.

Ввиду того, что возможности увеличения толщины теплоизоляции из конструктивных соображений ограничены (при этом растут масса и габариты КТС), наиболее эффективным способом снижения интенсивности нагрева топлива является уменьшение

тепловых потоков от работающих ПН и СН за счет понижения их мощности и повышения КПД:

$$q = \frac{N}{\eta} \left(\frac{1}{\eta_{\text{прив}}} - 1 \right),$$

где N – мощность ПН; η – КПД ПН; $\eta_{\text{прив}}$ – КПД привода электродвигателя ПН.

Мощность ПН определяется его напором и топливным расходом, который включает в себя пассивный (в двигатель) и активный (в СН) расходы. Потребный напор ПН увеличивается пропорционально сумме потерь полного давления $\Delta p_{\text{тр}}^*$ и прироста давления насыщенных паров топлива $\Delta p_{\text{П,тр}}$ в трубопроводе

в результате нагрева топлива. Исследования показывают, что снизить сумму $\Delta p_{\text{тр}}^*$ и $\Delta p_{\text{ПН}}$, которая определяет величину снижения кавитационного запаса турбо-насосного агрегата, можно подбором диаметра и толщины теплоизоляции трубопровода (рис. 3). Кроме того, уменьшение давления в ПН ведет к росту его КПД за счет снижения потерь на утечки и на дисковое трение [5].

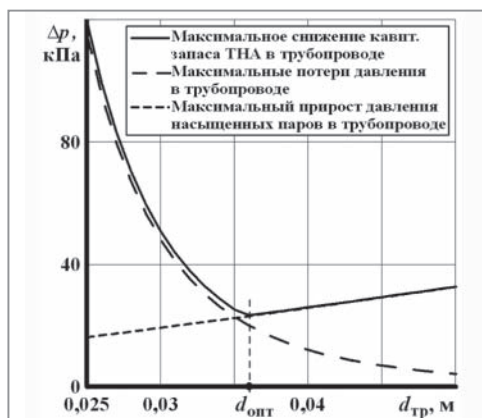


Рис. 3. Зависимость максимальных потерь в трубопроводе от его диаметра:
 $d_{\text{опт}}$ – оптимальный диаметр трубопровода,
 $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода

Очевидно, что снизить мощность ПН за счет расхода можно, только уменьшив активный расход топлива. При этом снижается и мощность СН [6]. Эксперименты показывают, что на взлете в расходном отсеке может наблюдаться уменьшение уровня («просадка») топлива, а при снижении мощности СН этот эффект усиливается, и возникает угроза выхода ПН на критический кавитационный режим. В результате необходимо либо увеличивать объем расходного отсека (но при этом растет масса невырабатываемого остатка топлива), либо уменьшать расчетный кавитационный запас ПН, что также является нежелательным. В связи с этим возникает необходимость подбора оптимального соотношения объема расходного отсека, мощности СН и расчетного

кавитационного запаса ПН, которые дают минимальный тепловой поток и минимальную массу невырабатываемого остатка топлива.

Таким образом, задачей проектирования КТС самолета является ее теплогидравлическая оптимизация с учетом взаимовлияния всех элементов и особенностей эксплуатации авиационной техники – большой продолжительности стоянок и полета, многорежимности, воздействия отрицательных перегрузок и др.

Расчетная схема теплообмена между окружающей средой и топливом в баке показана на рис. 4. Бак условно делится на три области, в которых процессы теплообмена качественно различаются. В области А тепловой поток направлен через теплоизоляцию бака в газообразное топливо, находящееся над жидким топливом. В области В тепловой поток поступает из газовой фазы топлива в жидкую, а в области С тепловой поток направлен в жидкое топливо через теплоизоляцию бака.

При этом для упрощения расчета в математической модели КТБ сделаны определенные допущения. Сложный термодинамический процесс, протекающий в надтопливном пространстве КТБ, рассматривается как последовательность основных термодинамических процессов [7]:

- адиабатное сжатие газа (от расширяющегося в результате нагрева топлива) на стоянке либо адиабатное расширение газа в полете (в результате расхода топлива);
- изохорный нагрев или охлаждение газа (в зависимости от температуры атмосферного воздуха и жидкой фазы топлива);
- изменение массы газа при его конденсации и кипении жидкого топлива (также учитывается при определении массы и температуры жидкого топлива).

Течение топлива в трубопроводе можно считать вынужденным конвективным. При этом процесс теплообмена

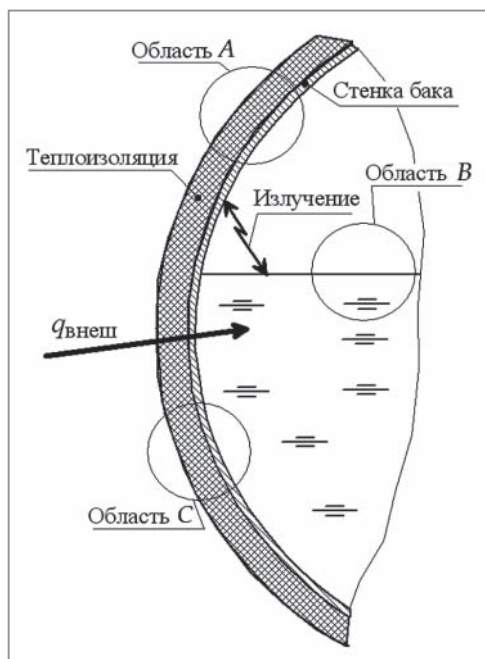


Рис. 4. Схема тепловых потоков в топливном баке КТС ($q_{\text{внеш}}$ – внешний тепловой поток)

рассчитывали во времени, то есть путем итерации с заданным временным интервалом. На каждой итерации выполняется расчет теплообмена во всех расчетных областях. Верификация математической модели теплообмена в криогенном баке осуществлялась по опытным данным, полученным при испытаниях натурного КТБ. При верификации математической модели КТБ и последующих параметрических исследованиях установлено, что наибольшая погрешность расчета связана с неточностью определения коэффициента теплопроводности материала теплоизоляции. Лучистый теплообмен рассчитывался по известным зависимостям с учетом поглощения и отражения излучения [8, 9]. Расчет теплофизических свойств криогенных топлив осуществлялся с помощью математической модели топлив [10].

Расчет гидравлических сопротивлений в трубопроводе с учетом его изгибов и в кранах проводился по формулам,

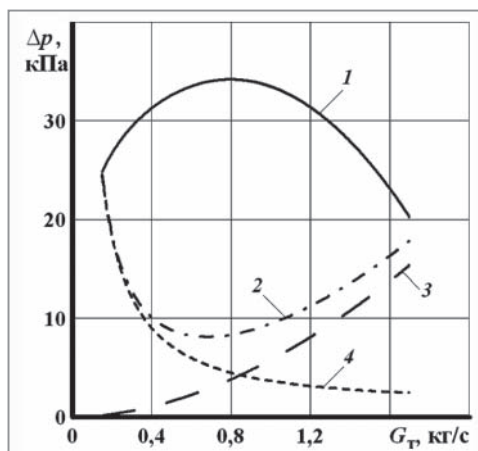


Рис. 5. Зависимость изменения кавитационного запаса ТНА в трубопроводе и потребного повышения давления в ПН от расхода топлива (G_T):

1 – потребное повышение давления в ПН; 2 – изменение кавитационного запаса ТНА в трубопроводе; 3 – потери давления в трубопроводе; 4 – прирост давления насыщенных паров топлива в трубопроводе

приведенным в [11]. При этом для выбранного варианта теплоизоляции и диаметра трубопровода определялись потери полного давления и прирост давления насыщенных паров топлива во всем эксплуатационном диапазоне расходов (рис. 5). Их сумма определяет величину снижения кавитационного запаса турбонасосного агрегата в трубопроводе, которая необходима для расчета ПН.

При расчете насосов определялись их геометрия, энергетические и кавитационные характеристики, а также тепловые потоки [4, 5]. Сначала брали ПН с наименьшей мощностью, а затем при фиксированном пассивном расходе, итерационно повышая давление в этом насосе, рассчитывали варианты с большей мощностью.

Расчет проводился до тех пор, пока степень повышения давления в ПН не превышала величину снижения кавитационного запаса турбонасосного агрегата. При этом угол наклона напорной характеристики ПН каждый раз

подбирался таким, чтобы данное превышение было минимальным во всем диапазоне расходов (см. рис. 5).

Мощность СН, начиная с минимального значения, итерационно повышалась за счет увеличения активного расхода топлива, пока располагаемый кавитационный запас ПН (с учетом снижения уровня топлива в РО), соответствующий взлетному режиму, не сравнивается с критическим. Таким образом, описанный алгоритм позволял так рассчитать агрегаты питания КТС, чтобы при минимальном избытке мощности насосов обеспечивалось надежное топливопитание двигателя для каждого варианта конструкции трубопровода.

Постановка задачи оптимизационного исследования

Критерием оптимизации выбран минимум массы КТС. При этом обязательным условием является отсутствие выбросов пара через предохранительный клапан в течение всего цикла выполнения задания.

В качестве примера рассмотрим КТС среднемагистрального пассажирского самолета на пропане Ту-204К с двигателями ПС-90 (см. рис. 2). Примем в качестве варьируемых следующие три параметра:

- внутренний диаметр трубопровода 20...50 мм;
- толщину теплоизоляции трубопровода 5...20 мм;
- толщину теплоизоляции бака 5...75 мм.

Ограничивающими параметрами являются максимальный внешний диаметр трубопровода 90 мм и толщина теплоизоляции бака 75 мм. Место расположения трубопроводов в топливной системе не меняется. Длина трубопровода (для каждого бака) – 15 м с пятью поворотами по 90°.

Для расчета был взят среднестатистический полетный цикл, выполняемый

магистральным самолетом, состоящий из стоянки перед взлетом, в который входит собственно стоянка и руление до взлетной полосы, полет самолета по заданному профилю и стоянка после полета до момента начала заправки криогенным топливом. Другими словами, после заправки криогенным топливом самолет должен иметь возможность стоять и ожидать взлета, а после посадки – некоторое время ожидать заправку. Профиль полета включал следующие участки:

- взлет до высоты 500 м;
- набор высоты 11 км – в течение 20 мин;
- крейсерский полет на высоте 11 км – в течение 6 ч 40 мин;
- снижение до высоты 500 м – в течение 20 мин;
- заход на посадку и посадка.

Каждому участку профиля полета соответствует режим работы двигателя, обеспечивающий поддержание тяги, заданных угла тангажа и скорости полета с соответствующим расходом топлива. Стоянка самолета (после заправки) перед взлетом – от 2 до 18 ч, после посадки (до следующей заправки) – 2 ч.

Исследовалась КТС, включающая два КТБ, имеющих форму цилиндра со сферическими торцами: бак № 1 – расположен на фюзеляже спереди, а бак № 2 – за баком № 1 (см. рис. 2). Объемы баков равны, а диаметры и длина различные. Предохранительные клапаны в обоих КТБ рассчитаны на перепад давления 0,2 МПа (повышение располагаемого перепада давления в КТБ требует увеличения их прочности, что ведет к росту массы КТС). Оба КТБ заправлены на 95 %. Пропан находится на линии насыщения. Материал теплоизоляции баков и трубопровода – пенополиуретан ППУ-17Н.

Результаты исследования

После проведения оптимизационных исследований получен вариант КТС со следующими параметрами:

- толщина теплоизоляции бака № 1 – 0,016 м, № 2 – 0,023 м;
- внутренний диаметр бака № 1 – 2,110 м, № 2 – 1,400 м;
- масса бака № 1 – 532,2 кг, № 2 – 787,3 кг;
- толщина теплоизоляции трубопровода – 0,006 м;
- внутренний диаметр трубопровода – 0,050 м;
- масса трубы – 21,1 кг;
- максимальная потребная мощность привода ПН – 167 Вт.

Минимально допустимый кавитационный запас ПН составляет 0,23 м, что позволяет применить расходный отсек с высотой стенок меньше половины диаметра обоих КТБ и снизить количество активного топлива, отбираемого от ПН на привод СН, на 22 %. При этом исключается возможность снижения уровня топлива в расходном отсеке на взлете в случае отказа одного из ПН (во время штатного взлета до высоты 500 м должны работать два ПН), даже если баки заправлены на 50 %.

Данный вариант является оптимальным, так как КТС имеет минимально возможную массу и габариты, при этом обеспечивается заданный диапазон

продолжительности стоянок без выбросов топлива через ПК.

Дальнейшее снижение массы КТС за счет уменьшения толщины теплоизоляции КТБ, заправленных кипящим пропаном, неминуемо приведет к сокращению времени стоянки перед взлетом. В противном случае произойдет выброс топлива через ПК. В этих условиях добиться улучшения габаритно-массовых характеристик исследуемой КТС можно только путем увеличения энергоемкости заправляемого топлива за счет его переохлаждения.

На рис. 6-10 представлены зависимости габаритно-массовых и эксплуатационных характеристик КТБ от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения.

Из рис. 8-10 видно, что при охлаждении топлива масса и внутренний диаметр обоих баков уменьшаются, однако понижение температуры пропана при заправке больше чем на 7 К требует уменьшения толщины теплоизоляции КТБ (см. рис. 7), что влечет за собой значительное сокращение диапазона стоянок перед взлетом (см. рис. 6). Уменьшать теплоизоляцию криобаков в этом случае необходимо для обеспечения

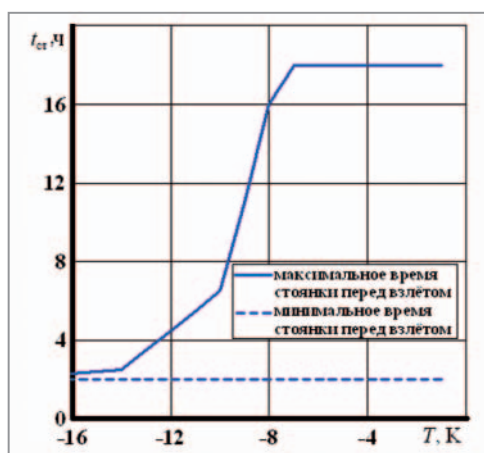


Рис. 6. Зависимость эксплуатационного диапазона стоянок перед взлетом от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения

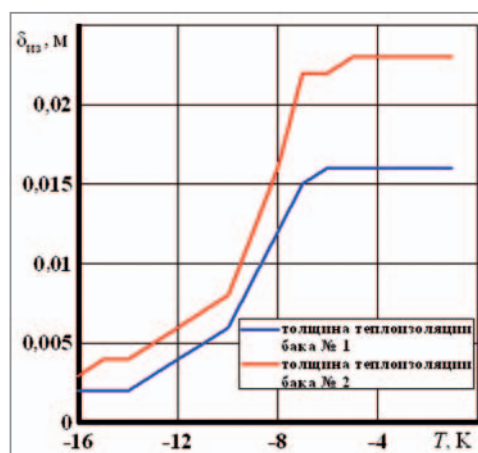


Рис. 7. Зависимость толщины теплоизоляции КТБ от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения

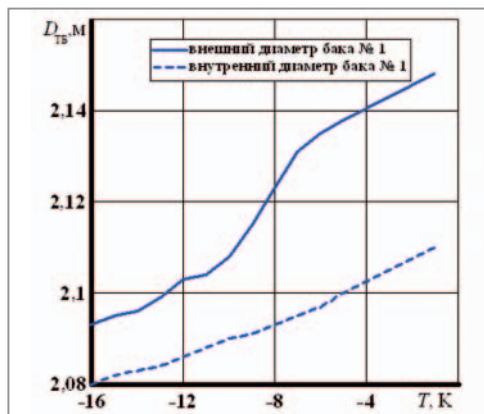


Рис. 8. Зависимость габаритов КТБ № 1 от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения

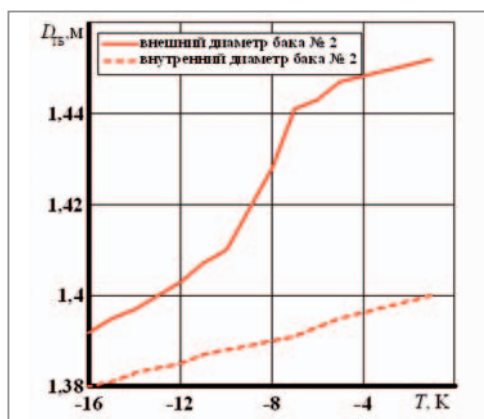


Рис. 9. Зависимость габаритов КТБ № 2 от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения

целостности конструкции КТБ при выполнении полетов с минимальным временем стоянки перед взлетом. Дело в том, что с уменьшением температуры заправляемого топлива снижается интенсивность нагрева газообразного пропана в надтопливном пространстве КТБ. Все это приводит к возникновению отрицательного перепада давления в баке при посадке (рис. 11, область А) и потере устойчивости конструкции КТБ, что в эксплуатации категорически недопустимо. С уменьшением толщины

теплоизоляции КТБ значительно улучшаются их габаритно-массовые характеристики (см. рис. 7-10), однако сокращается максимальное время стоянки перед взлетом (см. рис. 6) из-за наличия выбросов топлива через ПК (рис. 12) либо возникновения угрозы разрыва КТБ при расширении нагревающегося топлива (рис. 13). Все это делает эксплуатацию авиационной техники на пропане, охлажденном до температуры плавления, с максимальной энергоемкостью практически невозможной.

Таким образом, максимальную выгоду от охлаждения заправляемого пропана можно получить, понизив температуру топлива ниже температуры кипения на 16 К. В результате масса КТС уменьшается на 10,91 %, а внешний диаметр КТБ № 1 – на 2,56 %. Однако в этом случае располагаемый диапазон продолжительности стоянок перед взлетом сокращается с 16 ч до 30 мин (см. рис. 6).

Максимальный выигрыш в массе и габаритах КТС без ухудшения эксплуатационных характеристик получается при охлаждении пропана на 7 К (см. рис. 6). При этом масса КТС уменьшается на 1,3 %, а внешний диаметр КТБ № 1 – на 0,8 %.

Решение о выборе конкретного варианта заправки необходимо принимать в зависимости от требуемых условий эксплуатации.

Разработанный комплекс математических моделей криогенной топливной системы самолета позволил выполнить оптимизационные и параметрические исследования, которые дают основания сделать следующие выводы.

1. На интенсивность нагрева криотоплива значительное влияние, помимо толщины теплоизоляции, оказывают конфигурация бака, так и тепловой поток при работе подкачивающего насоса, мощность которого, в свою очередь, зависит от длины и диаметра трубопровода и толщины его теплоизоляции.

2. Время стоянки заправленного самолета лимитируется параметрами

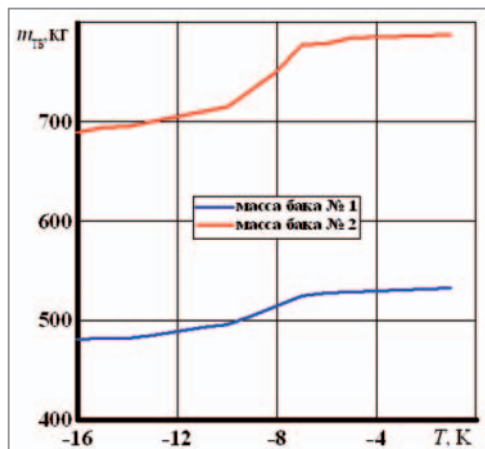


Рис. 10. Зависимость массы КТБ от степени переохлаждения заправляемого пропана относительно температуры кипения

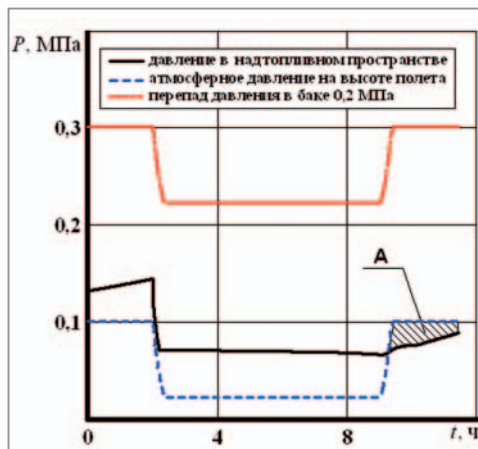


Рис. 11. Изменение давления в КТБ № 2, заправленном переохлажденным пропаном, во время стоянок и полета: толщина теплоизоляции бака – 0,023 м; пропан охлажден на 16 К ниже температуры кипения

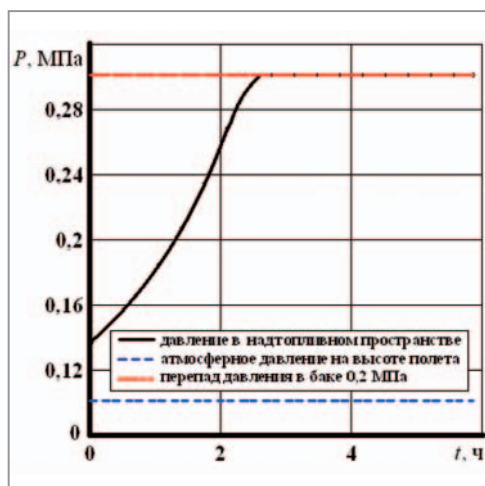


Рис. 12. Изменение давления в КТБ № 2, заправленном переохлажденным пропаном, на стоянке перед взлетом: толщина теплоизоляции бака – 0,003 м; пропан охлажден на 16 К ниже температуры кипения

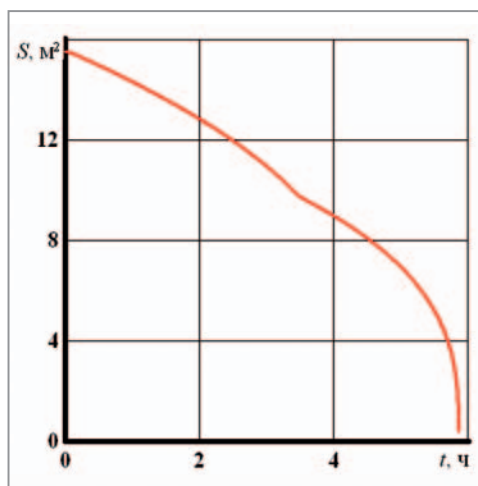


Рис. 13. Изменение площади «зеркала» топлива в КТБ № 2, заправленном переохлажденным пропаном, на стоянке перед взлетом: толщина теплоизоляции бака – 0,003 м; пропан охлажден на 16 К ниже температуры кипения

КТБ, имеющего меньший относительный диаметр, так как интенсивность нагрева криотоплива в нем выше. Для увеличения времени стоянки заправленного самолета целесообразно выполнять этот бак с большей толщиной теплоизоляции.

3. Применение криогенного пропана,

охлажденного до температуры плавления, с максимальной энергоемкостью в целях улучшения габаритно-массовых характеристик КТС нецелесообразно, так как в этом случае возникает угроза разрыва криобаков на стоянке перед взлетом или потери устойчивости их конструкции при посадке.

1. Международное энергетическое агентство / URL: <http://www.iea.org/> (дата обращения 30.08.2012).
2. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 592 с., ил. – Нью Йорк, 1977.
3. Андреев В.А., Борисов В.Д., Малышев В.В. и др. Внимание газы: криогенное топливо для авиации. – М.: Московский рабочий, 2001. – 224 с.
4. Архаров А.М., Кунис И.Д. Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 252 с.
5. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания ЖРД. – М.: Машиностроение, 1986. – 376 с.
6. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.
7. Кобельков В.Н., Улас В.Д., Федоров Р.М. Термодинамика и теплопередача. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. – 328 с.
8. Справочник по теплообмену. Т.1. / Под ред. Петухова Б.С., Шикова В.К. – М.: Энергоиздат, 1987. – 316 с.
9. Расчет теплозащиты, теплового и термонапряженного состояния элементов конструкции летательных аппаратов // Труды ЦНИИ № 30 МО. – 1968. – № 78 (248). – 316 с.
10. ГСССД 197-01 Таблицы стандартных справочных данных. Пропан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 86...700 К и давлениях 0,1...100 МПа.
11. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы), 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

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

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

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Текстовый материал с иллюстрациями и таблицами должен иметь сквозную нумерацию. Графический материал должен быть выполнен в формате, обеспечивающем ясность всех деталей рисунков. На рисунках цифры на осях графиков даются только прямым шрифтом, позиции на рисунках – только курсивным.

Формулы и символы должны быть четкими и понятными. Все обозначения в формулах необходимо расшифровать. В формулах и на рисунках все латинские буквы должны быть курсивными, за исключением тригонометрических функций, чисел Рейнольдса, Нуссельта и некоторых других величин. Греческие, русские буквы и цифры в формулах даются только прямым шрифтом. Нумеруются только те формулы, на которые сделаны ссылки в тексте.

Обозначения физических величин и единиц измерений необходимо давать в Международной системе единиц (СИ). Обязательно соблюдение действующих ГОСТов.

Текст, таблицы и графические рисунки должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии (не менее

300 dpi, CMYK) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Не следует форматировать текст самостоятельно.

При пересылке материалов по e-mail следует сопровождать их пояснительной запиской (от кого, перечень файлов и т.д.). Объемные файлы должны быть заархивированы.

При подготовке статей к печати необходимо руководствоваться документами, определяющими правила передачи информации через СМИ. Авторский коллектив должен указать ответственное лицо, с которым редакция будет вести переговоры в процессе подготовки статьи к изданию.

В список литературы включаются источники, на которые есть ссылки в статье. Ссылаться можно только на опубликованные работы. Список литературы составляется в порядке употребления. В нем приводятся следующие сведения: фамилия и инициалы авторов, название работы; для журнала – название, год издания, номер, страницы, на которых размещена статья; для книг – место и год издания, издательство, общее число страниц.

Редакция оставляет за собой право редакторской правки и не несет ответственности за достоверность публикации. Все внесенные изменения и дополнения в представленную к изданию статью согласовываются с автором или представителем авторского коллектива.

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

Газомоторное топливо за рубежом – увеличение экспорта Газпрома

Правление ОАО «Газпром» рассмотрело информацию о ходе выполнения Плана мероприятий на 2014-2015 гг. по усилению позиций компании в сегменте использования природного газа в качестве моторного топлива на зарубежных рынках.

Было отмечено, что в рамках Плана была проведена комплексная работа по определению направлений развития Газпрома в этом сегменте. В частности, выбраны приоритетные иностранные рынки. Особое внимание уделялось потенциальной емкости рынка, возможности организации поставок российского газомоторного топлива, оценке экономического эффекта от перевода транспортных средств на газомоторное топливо.

Сформулированы целевые параметры работы компании на зарубежных рынках газомоторного топлива на 2014-2015 гг. и в перспективе до 2030 г. При определении параметров учтены, помимо прочего, такие цели и задачи, как стимулирование долгосрочного роста спроса на природный газ для транспорта, увеличение объемов поставок российского газа на зарубежные рынки и повышение эффективности газомоторного бизнеса Газпрома. Разработанные целевые параметры позволят достичь устойчивого роста поставок природного газа компании для использования в качестве моторного топлива и увеличения розничных продаж за рубежом газомоторного топлива в виде СПГ и КПП через собственную сеть заправочных станций.



Газпром развивает газомоторный рынок Чехии

В начале июня в центральном офисе ОАО «Газпром» состоялась рабочая встреча председателя правления Алексея Миллера и Чрезвычайного и полномочного посла Чешской Республики в Российской Федерации Владимира Ремека.

Стороны рассмотрели текущие вопросы сотрудничества России и Чехии в газовой сфере. Было отмечено, что более чем 45-летний продуктивный диалог между нашими странами не только позволил обеспечить стабильность поставок российского природного газа потребителям республики, но и значительно повысил надежность газоснабжения других европейских стран.

В ходе встречи, в частности, была дана оценка перспективам развития партнерства в области применения газа в качестве моторного топлива. На чешском газомоторном рынке Газпром представлен компанией Vemex, которая располагает сетью из пяти АГНКС, а также осуществляет поставки газа на пять АГНКС сторонних компаний. В настоящее время Vemex совместно с Gazprom Germania реализуют проект по строительству девяти АГНКС на территории страны, в рамках которого планируется осуществлять снабжение газомоторным топливом автотранспорта Почты Чехии.

Управление информации ОАО «Газпром»



Особенности использования коэффициентов наполнения «по воздуху» и «по смеси» для оценки результатов газообмена в газовых двигателях

Л.М. Матюхин, профессор кафедры «ТиАТД» МАДИ, к.т.н.

В статье анализируются способы определения коэффициентов наполнения и среднего индикаторного давления двигателей внутреннего сгорания при использовании различных газообразных топлив.

Ключевые слова:

поршневые ДВС, газообмен, наполнение, вид топлива, объемные доли компонентов рабочей смеси.

Коэффициент наполнения η_v является отношением количества свежего заряда, заполнившего цилиндр по завершении газообмена, к количеству свежего заряда, которое теоретически могло бы заполнить рабочий объем цилиндра V_h при параметрах свежего заряда, которыми он характеризуется во впускном тракте перед впускными клапанами (при давлении p_k и температуре T_k в случае применения наддува и при параметрах окружающей среды p_0 и T_0 при его отсутствии) [1].

В связи с тем, что в ДВС с внешним смесеобразованием при одних и тех же условиях на входе в двигатель количество окислителя, попадающего в цилиндры с воздухом, зависит от типа используемого топлива и состава свежего заряда, различают коэффициенты наполнения «по воздуху» (η_v^B) и «по топливовоздушной смеси» (η_v^{CM}). Коэффициент наполнения по воздуху рассчитывают для оценки наполнения двигателей с внутренним смесеобразованием и бензиновых двигателей с внешним смесеобразованием, а η_v^{CM} обычно применяют при использовании газообразного топлива.

Под коэффициентом наполнения по смеси понимается отношение количества свежего заряда (СЗ), в действительности поступившего в цилиндры двигателя, к тому его количеству, которое могло бы теоретически разместиться в рабочем объеме цилиндра при параметрах перед впускными клапанами. Применительно к газовым двигателям обычно используется коэффициент наполнения по воздуху $\eta_v^{B/CM}$, являющийся отношением действительного расхода воздуха к тому его количеству, которое могло бы разместиться в рабочем объеме при параметрах перед впускными клапанами свежего заряда, который представляет собой либо горючую смесь (ГС), либо ГС плюс рециркуляционные газы. Таким образом, в любом случае в числителе выражения для определения коэффициента наполнения находится величина действительного

расхода свежего заряда или воздуха. Знаменатель зависимости представляет собой виртуальный теоретический расход СЗ или воздуха при температуре и давлении свежего заряда перед впускными клапанами (даже в том случае, когда определяется коэффициент наполнения по воздуху):

$$\eta_v^{см} = \frac{G_{см}^д}{G_{см}^{теор}} = \frac{G_{см}^д}{\rho_k^{см} V_h};$$

$$\eta_v^{в/см} = \frac{G_B^д}{G_{в/см}^{теор}} = \frac{G_B^д}{\rho_k^в V_h},$$

где $G_{см}^д$ и $G_B^д$ – действительный (экспериментально найденный) массовый расход соответственно топливоздушной смеси и воздуха, кг/ч; $G_{см}^{теор}$ и $G_{в/см}^{теор}$ – теоретический (при параметрах СЗ перед клапанами) расход топливоздушной смеси и воздуха; $\rho_k^{см}$ и $\rho_k^в$ – плотности топливоздушной смеси и воздуха при параметрах СЗ перед впускными клапанами; V_h – рабочий объем цилиндра.

Если для газового двигателя рассчитывать коэффициент наполнения по воздуху, то значение $\eta_v^{в/см}$ оказывается меньшим соответствующей его величины по смеси. Это различие принято объяснять замещением части воздуха в цилиндре газообразным топливом. Однако нетрудно доказать, что коэффициент наполнения по воздуху должен быть численно равен коэффициенту по смеси. Поскольку коэффициент наполнения является относительной величиной и показывает ухудшение наполнения в сравнении с «идеальным» наполнением, то снижение наполнения газоздушной смесью, например, на 20 %, означает, что на те же 20 % уменьшается и наполнение каждым из компонентов свежего заряда – воздухом, газообразным топливом и рециркуляционными газами. То есть, если в рассматриваемом случае коэффициент наполнения по смеси будет равным 80 %, то точно таким же должен быть и коэффициент наполнения по входящему в состав смеси воздуху или иным компонентам. Это легко показать математически.

Поскольку масса горючей смеси представляет собой сумму масс воздуха и топлива, то справедливо нижеследующее равенство

$$\eta_v^{см} = \frac{G_{см}}{G_{см}^{теор}} = \frac{G_B + G_T}{G_B^{теор} + G_T^{теор}} = \frac{G_B + \frac{G_B}{\alpha l_0}}{G_B^{теор} + \frac{G_B^{теор}}{\alpha l_0}},$$

где G_T – массовый расход топлива (газообразное); α – коэффициент избытка воздуха; l_0 – стехиометрическое соотношение, кг воздуха/кг топлива.

Отсюда следует

$$\eta_v^{см} = \frac{G_B \left(1 + \frac{1}{\alpha l_0}\right)}{G_B^{теор} \left(1 + \frac{1}{\alpha l_0}\right)} = \frac{G_B}{G_B^{теор}} = \eta_v^в. \quad (1)$$

Здесь $\eta_v^в = \frac{G_B^д}{G_{в/см}^{теор}} = \frac{G_B^д}{\rho_k^в V_h}$, а $\rho_k^в$ – плотность воздуха при его парциальном давлении в свежем заряде.

При наличии рециркуляции выражение (1) перепишется как

$$\eta_v^{см} = \frac{G_{см}}{G_{см}^{теор}} = \frac{\mu_{см} N_{см}}{\mu_{см} N_{см}^{теор}} = \frac{N_B + N_T + N_R}{N_B^{теор} + N_T^{теор} + N_R^{теор}}.$$

Здесь μ_{cm} - молекулярная масса топливовоздушной смеси; N_{cm} , N_B , N_T - количество молей ее компонентов; нижний индекс «R» относится к рециркуляционным газам.

Но степень рециркуляции есть отношение количеств молей рециркуляционных газов и свежего заряда, то есть

$$R'_c = \frac{N_R}{N_{rc} + N_R}.$$

Подстрочный индекс «rc» относится к горючей топливовоздушной смеси.

Отсюда количество молей рециркуляционных газов можно найти по выражению

$$N_R = \frac{R'_c N_{rc}}{1 - R'_c} = \frac{R'_c (N_B + N_T)}{1 - R'_c}.$$

После подстановки в выражение для определения η_v получаем

$$\eta_v^{cm} = \frac{N_B + N_T + N_R}{N_B^T + N_T^T + N_R^T} = \frac{N_B + N_T + R'_c \frac{N_B + N_T}{(1 - R'_c)}}{N_B^T + N_T^T + R'_c \frac{N_B^T + N_T^T}{(1 - R'_c)}}.$$

При известном коэффициенте α количество молей топлива может быть определено

соотношением $N_T = \frac{N_B \mu_B}{\alpha I_0 \mu_T}$, а потому

$$\eta_v^{cm} = \frac{\left[N_B + \frac{N_B \mu_B}{\alpha \mu_T I_0} + R'_c \frac{N_B + \frac{N_B \mu_B}{\alpha \mu_T I_0}}{(1 - R'_c)} \right]}{\left[N_B^T + \frac{N_B^T \mu_B}{\alpha \mu_T I_0} + R'_c \frac{N_B^T + \frac{N_B^T \mu_B}{\alpha \mu_T I_0}}{(1 - R'_c)} \right]} = \frac{\left(N_B + \frac{N_B \mu_B}{\alpha \mu_T I_0} \right) \left[1 + \frac{R'_c}{(1 - R'_c)} \right]}{\left(N_B^T + \frac{N_B^T \mu_B}{\alpha \mu_T I_0} \right) \left[1 + \frac{R'_c}{(1 - R'_c)} \right]}.$$

Но так как последний множитель здесь равен единице, то после вынесения действительного и теоретического количеств молей горючей смеси за скобки числителя и знаменателя окончательно получаем

$$\eta_v^{cm} = \frac{N_B \left(1 + \frac{\mu_B}{\alpha \mu_T I_0} \right)}{N_B^{теор} \left(1 + \frac{\mu_B}{\alpha \mu_T I_0} \right)} = \frac{N_B}{N_B^{теор}} = \eta_v^B. \quad (1a)$$

Таким образом, коэффициенты наполнения по воздуху и по смеси в любом случае действительно должны быть одинаковыми. Но повседневный опыт показывает, что коэффициент наполнения по воздуху $\eta_v^{B/cm} = G_B / V_h \rho_k$ при работе двигателя на газообразном топливе оказывается меньше соответствующего значения по смеси $\eta_v^{B/cm} = G_B + G_T / V_h \rho_k$. Причина расхождения становится понятной, если вспомнить приведенное в начале статьи определение коэффициента наполнения, в соответствии с которым сравниваются действительное и теоретическое количества свежего заряда. Но посчитанный при таком подходе коэффициент наполнения $\eta_v^{B/cm}$ представляет собой отношение количества воздуха, в действительности поступившего

в цилиндр, к тому его количеству, которое могло бы разместиться в рабочем объеме при параметрах не воздуха, а газозвушной смеси.

При определении коэффициента наполнения по воздуху (η_v^B) следует соотносить действительное и теоретическое количества именно воздуха. А это означает, что в знаменателе выражения для определения η_v^B должно фигурировать количество воздуха, которое могло бы находиться в рабочем объеме цилиндра при его параметрах перед впускными клапанами, то есть при парциальном давлении воздуха в СЗ. Иными словами, в данном случае теоретическое количество воздуха следует вычислять, используя плотность воздуха при его парциальном давлении p_v в смеси, и тогда $\eta_v^B = G_B / V_{\text{г}} \rho_v$.

Количество топлива, которое может подаваться в цилиндры двигателя при заданном значении коэффициента α (а значит – и мощность двигателя), зависит в первую очередь от количества введенной в цилиндр с топливом теплоты, а следовательно – от количества поступившего в цилиндр воздуха ($G_T = G_B / \alpha l_0$). Таким образом, мощность двигателя для каждого из значений α определяется наполнением по воздуху, которое оценивается коэффициентом наполнения по воздуху.

Для корректного определения коэффициента наполнения η_v^B с использованием лишь расхода воздуха необходимо знать его парциальное давление в свежем заряде заданного состава. В общем случае величина парциального давления определяется соотношением в свежем заряде воздуха, газообразного топлива и рециркуляционных газов. Чтобы высчитать парциальное давление воздуха, необходимо знать давление свежего заряда на входе в цилиндры и объемную или массовую долю в нем воздуха. При отсутствии рециркуляции и известном значении коэффициента избытка воздуха α объемную долю воздуха в ГС можно найти как отношение количеств молей воздуха и горючей смеси

$$\sigma_B = \frac{N_B}{N_B + N_T} = \frac{\frac{G_B}{\mu_B}}{\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_T}{\mu_T}}.$$

Но поскольку $G_T = G_B / \alpha l_0$, то

$$\sigma_B = \frac{\frac{G_B}{\mu_B}}{\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_B}{\alpha \mu_T l_0}}.$$

После сокращения на G_B / μ_B имеем

$$\sigma_B = \frac{1}{1 + \frac{\mu_B}{\alpha \mu_T l_0}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha \mu_T L_0}} = \frac{\alpha \mu_T L_0}{1 + \alpha \mu_T L_0}.$$

Здесь $L_0 = l_0 / \mu_B$ – стехиометрическое соотношение, кмоль воздуха/кг топлива.

Из полученного выражения следует, что парциальное давление пропорционально некоторому коэффициенту

$$A = \frac{\alpha \mu_T L_0}{1 + \alpha \mu_T L_0} = \sigma_B, \quad (2)$$

зависящему, в свою очередь, от молекулярной массы используемого топлива, его стехиометрического соотношения L_0 и коэффициента избытка воздуха α . Коэффициент A был назван коэффициентом вытеснения [2]. Он равен доле воздуха σ_B в рабочей смеси и появляется также при выводе выражений для определения ее объемного состава [3]. А в (1а) фигурирует заключенная в скобках величина, обратная этому коэффициенту. Коэффициент вытеснения численно равен объемной доле воздуха σ_B в топливозвушной смеси.

Соответственно объемная доля топлива в горючей смеси определяется величиной

$$\sigma_{\tau} = 1 - \sigma_{\text{в}} = 1 - \frac{\alpha \mu_{\tau} L_0}{1 + \alpha \mu_{\tau} L_0},$$

$$\text{или } \sigma_{\tau} = \frac{1}{1 + \alpha \mu_{\tau} L_0}. \quad (2a)$$

Если коэффициент избытка воздуха характеризует степень отличия состава горючей смеси от стехиометрического состава, то сочетанием долей топлива и воздуха оценивается непосредственно сам состав смеси.

Коэффициент вытеснения равен объемной доле воздуха в свежем заряде, а потому парциальное давление воздуха составляет

$$p_{\text{в}} = p_k \sigma_{\text{в}} = p_k A. \quad (3)$$

Таким образом, при определении теоретического количества воздуха в зависимости для определения $\eta_{\text{в}}^{\text{б}}$ вместо величины давления p_k следует подставлять произведение $A p_k$.

В предположении завершения процесса впуска в нижней мертвой точке (НМТ) [4] после записи уравнения состояния для полного объема цилиндра и для N_1 молей свежего заряда имеем $p_a V_a = (N_1 + N_r) 8314 T_a$ или $p_a V_a = N_1 (1 + \gamma_r) 8314 T_a$. В этом выражении γ_r – коэффициент остаточных газов. Отсюда количество молей свежего заряда находится как

$$N_1 = \frac{p_a V_a}{(1 + \gamma_r) 8314 T_a}.$$

При этом для рабочего объема цилиндра при параметрах СЗ перед впускными клапанами можно записать $p_{\text{в}} V_{\text{в}} = N_1^{\text{т}} 8314 T_k$, или с учетом выражения (3) $A p_k V_{\text{в}} = N_1^{\text{т}} 8314 T_k$, где $N_1^{\text{т}}$ есть теоретическое количество молей воздуха, которое могло бы разместиться в рабочем цилиндре при параметрах СЗ перед впускными клапанами, то есть при давлении $p_{\text{в}} = p_k A$ (так как парциальное давление компонента равно произведению давления смеси на его объемную долю) и температуре T_k .

Следовательно $N_1^{\text{т}} = A p_k V_{\text{в}} / 8314 T_k$.

Имея в виду, что $V_a / V_{\text{в}} = V_a / (V_a - V_c) = \varepsilon / (\varepsilon - 1)$, после деления N_1 на теоретическое количество молей $N_1^{\text{теор}}$ получаем

$$\eta_{\text{в}}^{\text{б}} = \frac{p_a V_a 8314 T_k}{A p_k V_{\text{в}} (1 + \gamma_r) 8314 T_a}, \text{ или } \eta_{\text{в}}^{\text{б}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{A p_k} \cdot \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{1}{(1 + \gamma_r)}.$$

Если воспользоваться выражением $T_a = \frac{T_k + \Delta T + \phi \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$ [4] (ΔT – подогрев

свежего заряда во впускном трубопроводе) и учитывать коэффициент дозарядки ϕ_1 , то последнее выражение для определения коэффициента наполнения принимает вид

$$\eta_{\text{в}}^{\text{б}} = \phi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{A p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \phi \gamma_r T_r}. \quad (4)$$

В этой зависимости коэффициент ϕ учитывает различие теплоемкостей воздуха и остаточных газов.

Нетрудно заметить, что полученное выражение отличается от традиционно используемого [1] лишь стоящей в знаменателе величиной объемной доли воздуха в горючей смеси A . Для газовых двигателей с внешним смесеобразованием эта связь определяется выражением

$$\eta_v^B = \eta_v^{B/CM} / A.$$

При этом, как следует из (1а), полученное значение η_v^B будет равно величине коэффициента наполнения по смеси, то есть $\eta_v^B = \eta_v^{CM}$.

Собственно, к выводу о справедливости полученного соотношения можно прийти и исходя из следующих посылок.

Соотношение $\eta_v^{B/CM} / \eta_v^B$ соответствует выражению

$$\frac{\eta_v^{B/CM}}{\eta_v^B} = \frac{\frac{N_B}{N_{CM}^T}}{\frac{N_B}{N_B^T}} = \frac{N_B^T}{N_{CM}^T} = \frac{\frac{G_B^T}{\mu_B}}{\frac{G_B^T}{\mu_B} + \frac{G_T^T}{\mu_T}}.$$

Здесь под G_T^T понимается теоретическая масса воздуха, входящего в состав горючей смеси, которая могла бы разместиться в рабочем объеме цилиндра при параметрах СЗ перед впускными клапанами. Учитывая, что $G_T = G_B / \alpha l_0$, получаем

$$\frac{\eta_v^{B/CM}}{\eta_v^B} = \frac{1}{\frac{1}{\mu_B} + \frac{1}{\alpha l_0 \mu_T}} = \frac{1}{\frac{\alpha l_0 \mu_T + \mu_B}{\alpha l_0 \mu_T}} = \frac{\alpha l_0 \mu_T}{\alpha l_0 \mu_T + \mu_B},$$

откуда окончательно

$$\frac{\eta_v^{B/CM}}{\eta_v^B} = \frac{\alpha L_0 \mu_T}{\alpha L_0 \mu_T + 1} = A.$$

Таким образом, действительно справедливо полученное выше равенство $\eta_v^B = \eta_v^{B/CM} / A$.

Аналогично, исходя из соотношения $\frac{\eta_v^{B/CM}}{\eta_v^B} = \frac{N_B^T}{N_{CM}^T}$, получаем

$$\frac{\eta_v^{B/CM}}{\eta_v^B} = \frac{\frac{G_B^T}{\mu_B}}{\frac{G_{B/CM}^T}{\mu_B}} = \frac{\frac{V_h \rho_B}{\mu_B}}{\frac{V_h \rho_{B/CM}}{\mu_B}} = \frac{\rho_B}{\rho_{B/CM}},$$

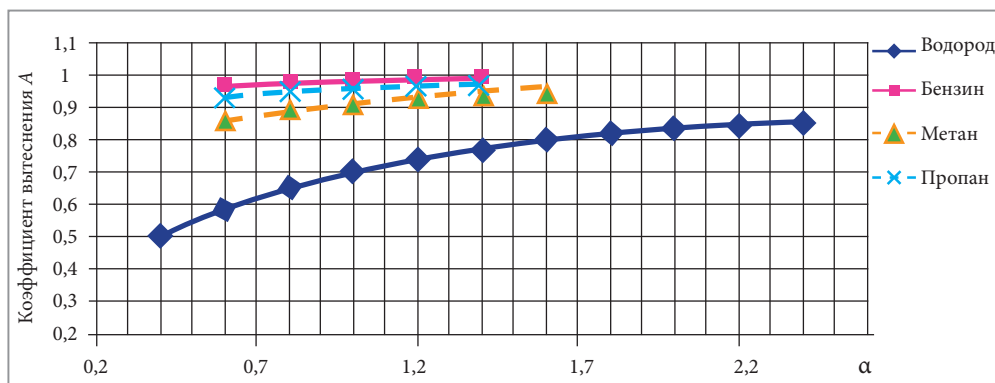
где $\rho_{B/CM}$ – плотность воздуха при параметрах топливоздушной смеси.

Но $\rho_i = p_i / R_i T = \mu_i p_i / 8314 T$, и тогда $\eta_v^{B/CM} / \eta_v^B = p_B / p_k$, а парциальное давление воздуха определяется как произведение его объемной доли в смеси на давление смеси $p_B = \sigma_{вк} p_k$, откуда $\eta_v^{B/CM} / \eta_v^B = \sigma_{вк} = A$.

Как показано в [5], выражение для определения коэффициента наполнения по воздуху также может определяться выражением, полученным исходя из анализа соотношений парциальных объемов компонентов рабочей смеси

$$\eta_v^B = \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{(\varepsilon p_a T_r - p_r T_a \Phi_s)}{p_k T_r} \cdot \frac{T_k}{T_a} A.$$

Поскольку коэффициенты наполнения по смеси и по воздуху в соответствии с (1) одинаковы, то расчет должен вестись с учетом действительного давления воздуха в горючей смеси, то есть с предварительным определением коэффициента вытеснения A . Для двигателей с внутренним смесеобразованием он равен единице. Для бензиновых двигателей с внешним смесеобразованием даже при полном испарении топлива этот коэффициент лишь незначительно меньше единицы, в то время как для газовых двигателей с внешним смесеобразованием пренебрежение коэффициентом вытеснения A неизбежно приводит к существенным погрешностям (рисунок).



Влияние коэффициента избытка воздуха alpha и типа топлива на коэффициент вытеснения

Так как переход к легким газообразным топливам означает уменьшение коэффициента A, то в результате деления на величину, меньшую единицы, коэффициент наполнения по воздуху возрастает и становится равным коэффициенту наполнения по смеси. Иными словами, для газовых двигателей при известных значениях расхода воздуха и коэффициента избытка воздуха для нахождения коэффициента наполнения по воздуху достаточно разделить посчитанную по выражению $\eta_v^{B/CM} = G_B / 0,03 n i V_h \rho_k$ величину на коэффициент вытеснения A, определяемый по (2), то есть воспользоваться выражением

$$\eta_v = \frac{G_B}{0,03 A n i V_h \rho_k} \quad (5)$$

Следовательно, при наличии lambda-зонда и автоматическом поддержании неизменным коэффициента избытка воздуха для определения коэффициента наполнения отпадает необходимость в определении расхода газообразного топлива. В этом случае можно ограничиться замерами одного лишь расхода воздуха, поскольку $\eta_v = \eta_v^B = \eta_v^{CM}$. Это может существенно упростить проведение эксперимента.

Если в двигателе используется рециркуляция, то объемная доля воздуха определится из соотношения

$$\sigma_B = \frac{N_B}{N_B + N_R + N_T}$$

Определяя все члены зависимости через количество молей, молекулярные массы и степень рециркуляции, имеем

$$\sigma_B = \frac{\frac{G_B}{\mu_B}}{\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_T}{\mu_T} + \frac{R'_c \left(\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_T}{\mu_T} \right)}{1 - R'_c}}$$

Но поскольку $G_T = G_B / \alpha l_0$, то количество молей топлива равно $G_B / \alpha \mu_T l_0$, и тогда

$$\sigma_B = \frac{\frac{G_B}{\mu_B}}{\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_B}{\alpha \mu_T l_0} + \frac{R'_c \left(\frac{G_B}{\mu_B} + \frac{G_B}{\alpha \mu_T l_0} \right)}{1 - R'_c}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\mu_B}{\alpha \mu_T l_0} \right) + \frac{R'_c \left(1 + \frac{\mu_B}{\alpha \mu_T l_0} \right)}{1 - R'_c}}$$

Это выражение можно представить в виде

$$\sigma_b = \frac{1}{\left(1 + \frac{\mu_b}{\alpha \mu_T l_0}\right) \cdot \left(1 + \frac{R'_c}{1 - R'_c}\right)}.$$

Здесь

$$1 + \frac{\mu_b}{\alpha \mu_T l_0} = \frac{1 + \alpha \mu_T L_0}{\alpha \mu_T L_0} = \frac{1}{A} \quad \text{и} \quad \left(1 + \frac{R'_c}{1 - R'_c}\right) = \frac{1}{1 - R'_c}.$$

В этом случае

$$\sigma_b = \frac{A}{\left(\frac{1}{1 - R'_c}\right)} = (1 - R'_c) A. \quad (3a)$$

Поскольку свежий заряд состоит из смеси воздуха, газообразного топлива и рециркуляционных газов, а степень рециркуляции R'_c есть объемная доля рециркуляционных газов в свежем заряде, то $1 - R'_c = \sigma_b + \sigma_T + \sigma_{ГС}$. Следовательно, разность $1 - R'_c$ представляет собой объемную долю горючей смеси в свежем заряде.

Таким образом, объемная доля воздуха в свежем заряде определяется выражением $\sigma_b = (1 - R'_c)A$, и парциальное давление воздуха в свежем заряде равно $p_b = p_k(1 - R'_c)A$. Соответственно коэффициент наполнения по воздуху при использовании рециркуляции следует рассчитывать по выражению

$$\eta_v^b = \varphi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{A(1 - R'_c) p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \varphi_{\gamma_r} T_r}. \quad (4a)$$

В случае экспериментального нахождения коэффициента наполнения по воздуху можно воспользоваться выражением

$$\eta_v^b = \frac{G_b}{0,03 A (1 - R'_c) n i V_h \rho_k}. \quad (5a)$$

Нетрудно заметить, что при отсутствии рециркуляции последние выражения превращаются в (3), (4) и (5).

При одинаковых значениях коэффициента наполнения количество теплоты, вносимой со свежим зарядом в цилиндры, для базового бензинового и конвертированного из него газового двигателя различно – это следствие различных количеств поступающих в цилиндр воздуха и топлива.

При конвертации двигателя коэффициент наполнения можно оставить практически неизменным путем отключения подогрева впускного трубопровода. Если условия на входе в двигатель остаются постоянными, то при переходе на питание газообразным топливом и при одинаковых значениях коэффициентов α и η_v парциальный объем газообразного топлива в объеме цилиндра возрастает. Одновременно на соответствующую величину уменьшается парциальный объем воздуха. Но при $\alpha = \text{idem}$ при меньшем количестве воздуха в цилиндр подается и меньшее количество топлива, что приводит к снижению мощности двигателя.

Среднее индикаторное давление в любом случае определяется выражением

$$p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_b \eta_v^b, \quad (6)$$

в котором фигурирует плотность воздуха ρ_b при его парциальном давлении в смеси (H_u – низшая рабочая теплота сгорания, кДж/кг, для газовых двигателей в кДж/м³). Это следует из логики вывода

$$p_i = \frac{L_i}{V_h} = \frac{Q_t^u \eta_i}{V_h} = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{G_b}{\alpha} \cdot \frac{\eta_i}{V_h} = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_b \eta_v^b.$$

Здесь L_i – индикаторная работа цикла; Q_t^u – количество теплоты, внесенной в цилиндр с цикловым зарядом топлива; η_i – индикаторный КПД цикла.

Как было показано выше, в общем случае (для газовых двигателей с рециркуляцией) имеем $\eta_v^b = \eta_v = \eta_v^{cm} = \eta_v^{b/cm} / [A(1-R'_c)]$, в связи с чем последнее выражение можно записать как

$$p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_b \frac{\eta_v^{b/cm}}{A(1-R'_c)}. \quad (7)$$

Здесь в числителе фигурирует коэффициент наполнения, показывающий отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, подсчитанному при параметрах свежего заряда перед впускными клапанами. Входящее в эту зависимость значение плотности воздуха можно найти из выражения

$$\rho_b = \frac{p_b}{R_b T} = \frac{p_k A(1-R'_c)}{R_b T}, \text{ или } \rho_b = \frac{\mu_b p_k A(1-R'_c)}{8314 T}.$$

В этом случае выражение (7) для определения среднего индикаторного давления запишется следующим образом

$$p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{\mu_b p_k A(1-R'_c)}{8314 T} \cdot \frac{\eta_v^{b/cm}}{A(1-R'_c)}.$$

Но $\mu_b p_k / 8314 T = \rho_k$, и тогда

$$p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_k \eta_v^{b/cm}. \quad (8)$$

Здесь под ρ_k понимается плотность воздуха при параметрах свежего заряда перед впускными клапанами – при p_k и T_k . Эта зависимость действительно позволяет оценить мощностные показатели двигателя по результатам одного лишь замера расхода воздуха.

В том случае, если исходить из наполнения по смеси, получаем

$$p_i = \frac{L_i}{V_h} = \frac{Q_{cm}^u \eta_i}{V_h} = \frac{H_{cm} G_{cm} \eta_i}{V_h}.$$

Но $G_{cm} = G_b + G_t = G_b + G_b / \alpha l_0 = G_b (\alpha l_0 + 1) / \alpha l_0$, и теплота сгорания смеси для одного килограмма топлива $H_{cm} = H_u / (\alpha l_0 + 1)$. Поэтому

$$p_i = \frac{H_u}{(\alpha l_0 + 1) l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{\alpha l_0 + 1}{V_h} G_b = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_b V_h \eta_v^b,$$

откуда окончательно получаем исходную зависимость (6) $p_i = (H_u \eta_i / l_0 \alpha) \rho_b \eta_v^b$. Как показано выше, это выражение равнозначно зависимости (8).

Как следует из проведенного анализа, коэффициенты наполнения по воздуху η_v^b и по смеси η_v^{cm} численно равны и соотношением $\eta_v = \eta_v^{cm} = \eta_v^b = \eta_v^{b/cm} / A$ связаны с коэффициентом $\eta_v^{b/cm}$.

Вычисление среднего индикаторного давления цикла может проводиться с помощью любого из двух выражений – (6) или (8).

Литература

1. Автомобильные двигатели: учебник [для вузов] / под ред. М.Г. Шатрова. – М.: Академия, 2010. – С. 59.
2. Матюхин Л.М. Анализ процессов газообмена и состава рабочей смеси газового двигателя с внешним смесеобразованием / Л.М. Матюхин // Вестн. МАДИ (ГТУ). – 2007. – Вып. 4 (11). – С. 5–7.
3. Матюхин Л.М. Анализ наполнения и тепловой расчет ДВС на базе состава рабочей смеси / Л.М. Матюхин. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 170 с.
4. Автомобильные двигатели: учебник [для вузов] / под ред. М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 80–83.
5. Матюхин Л.М. Альтернатива коэффициенту наполнения / Л.М. Матюхин / Двигатель–2007: сб. науч. тр. – М., 2007. – С. 80–85.

Термоакустические охладители на солнечной энергии для орбитальных комплексов

В.И. Карагусов, профессор Омского государственного технического университета, д.т.н.,
И.В. Карагусов, аспирант Омского государственного технического университета

Термоакустические охладители являются перспективными системами охлаждения для космических аппаратов как на холодильном, так и на криогенном температурных уровнях. В них отсутствуют механически подвижные детали и узлы, что обуславливает длительный ресурс, высокую надежность и отсутствие вибраций. Для работы такие охладители могут использовать тепловую энергию вместо электрической, не требуют резервирования и обслуживания. На теневых участках орбиты для обеспечения работы термоакустических охладителей возможно применение аккумуляторов теплоты и холода.

Ключевые слова:

термоакустический охладитель, космические аппараты, орбитальные станции, солнечные концентраторы, аккумуляторы теплоты и холода.

На борту орбитальных станций размещается целый ряд приборов, требующих охлаждения до температур холодильного и криогенного уровней [1]. Технические требования к системам охлаждения этих приборов определяются исходя из условий функционирования, тактико-технических характеристик космического аппарата (КА), поставленных задач, возможностей систем энергоснабжения и систем обеспечения теплового режима (СОТР) [1-4].

На борту большинства КА очень жесткие требования по энергопотреблению, массе, габаритам, надежности и ресурсу работы. На функционирование фотоприемных устройств (ФПУ) существенное влияние оказывают вибрации, создаваемые термомеханическими

системами охлаждения [5]. Анализ показывает, что наиболее эффективно, технически просто и надежно охлаждение приборов может быть реализовано на основе термоакустического эффекта, который заключается в том, что в прямом термодинамическом цикле тепловая энергия преобразуется в акустическую, а в обратном термодинамическом цикле акустическая энергия генерирует холод. Принцип действия термоакустических охладителей (ТАО) описан в [6, 7].

ТАО обладают целым рядом полезных для космической техники свойств: отсутствием механически подвижных деталей и узлов, что позволяет достичь длительного ресурса, высокой надежности и отсутствия вибраций. Для своей работы они могут использовать

не только электрическую, но и тепловую энергию. Такие ТАО не требуют резервирования и обслуживания.

Таким образом, бортовые ТАО (рис. 1) с питанием от солнечной энергии позволяют обеспечить надежное высоко-ресурсное невибрирующее охлаждение объектов космического базирования.

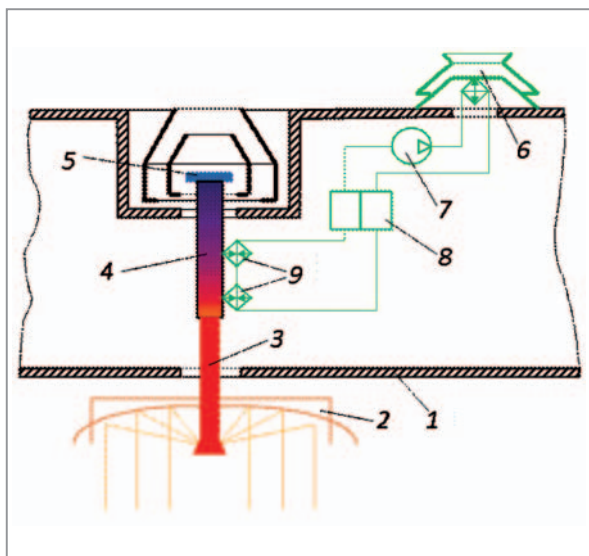


Рис. 1. Бортовая система охлаждения с питанием от солнечной энергии:

1 – корпус КА; 2 – солнечный концентратор; 3 – теплопровод; 4 – ТАО; 5 – ФПУ; 6 – пассивный радиатор-охладитель СОТР; 7 – нагнетатель СОТР; 8 – СОТР; 9 – теплообменники охлаждения ТАО

Работает бортовой термоакустический охладитель следующим образом. Энергию, полученную от Солнца, солнечный концентратор 2 через теплопровод 3 подводит к ТАО 4, который вырабатывает холод и охлаждает фотоприемное устройство 5. Теплота с промежуточного температурного уровня ТАО отводится системой обеспечения теплового режима 8 через теплообменники 9 при помощи нагнетателя 7 и пассивного радиатора-охладителя 6.

Использование солнечной энергии на борту орбитальных КА связано с определенными трудностями. Они об-

условлены тем, что КА при вращении вокруг Земли периодически находятся на солнечной и теневой сторонах. Это приводит к тому, что в определенные моменты времени ТАО не получает тепловой энергии и не может охлаждать ФПУ. Если из поставленных перед КА задач требуется работа ФПУ на теневой стороне орбиты, то она может быть обеспечена с помощью аккумуляторов теплоты и холода (рис. 2).

При движении КА по освещенной стороне орбиты теплота с солнечного концентратора 2 частично накапливается в аккумуляторе теплоты 10, а на теневой стороне – отдает теплоту ТАО, чем обеспечивает его работоспособность. Криогенный аккумулятор холода 11 запасает холод при работе ТАО на освещенной стороне и отдает запасы холодопроизводительности ФПУ на теневой. Кроме того криогенный аккумулятор холода 11 обеспечивает холодом

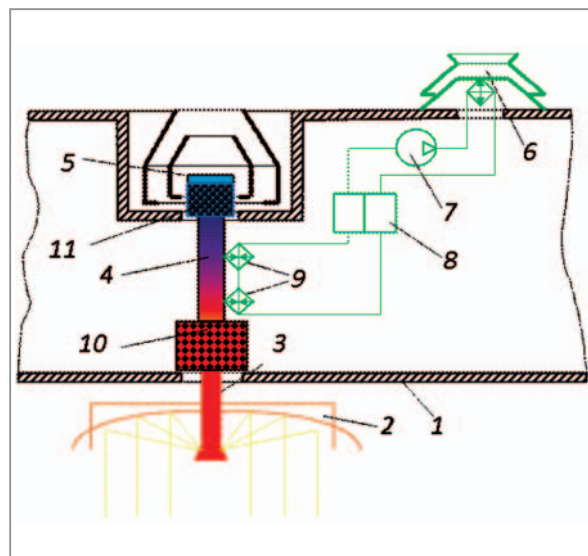


Рис. 2. Бортовая система охлаждения с питанием от солнечной энергии:

1 – корпус КА; 2 – солнечный концентратор; 3 – теплопровод; 4 – ТАО; 5 – ФПУ; 6 – пассивный радиатор-охладитель СОТР; 7 – нагнетатель СОТР; 8 – СОТР; 9 – теплообменники охлаждения ТАО; 10 – аккумулятор теплоты; 11 – криогенный аккумулятор холода

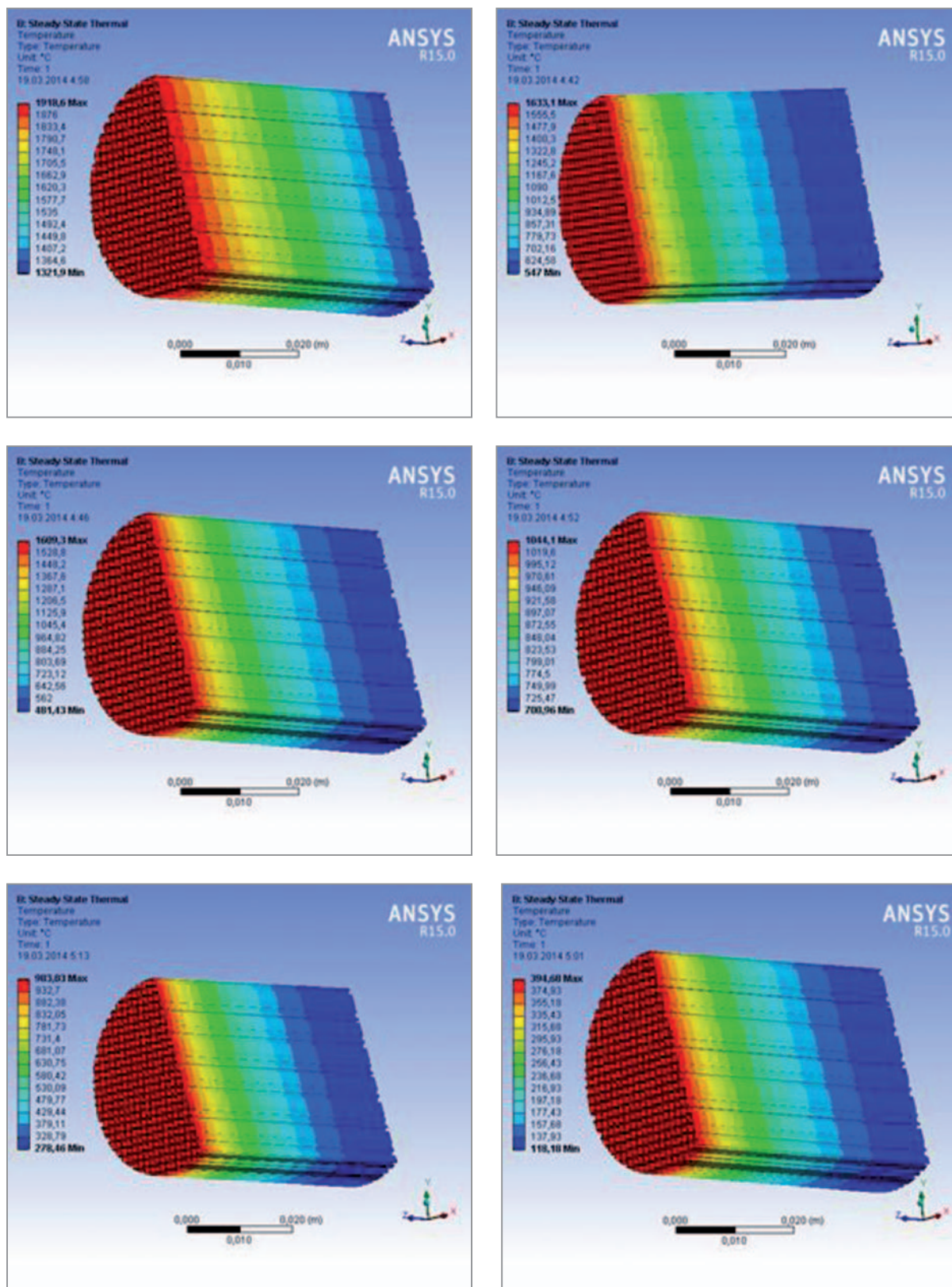


Рис. 3. Распределение температур по длине СТЕКа при различных режимах работы ТАО

переходные режимы и компенсирует нагрев ФПУ при нештатных тепловых нагрузках.

Основными элементами ТАО, определяющими энергетические и массогабаритные характеристики, являются теплый и холодный регенеративные теплообменники – СТЕКи [6, 7]. К ним предъявляются жесткие и зачастую противоречивые требования: должны быть большой градиент температур на концах для большой холодопроизводительности, высокого термодинамического КПД и малый градиент температур для уменьшения потерь от теплопроводности; уменьшение длины СТЕКов определяется акустическими потерями, а увеличение – потерями от теплопроводности и расширением поверхности теплообмена; с одной стороны увеличение диаметра каналов и уменьшение их числа необходимы для снижения акустических потерь, с другой – уменьшение ди-

аметра каналов и увеличение их числа необходимы для роста теплообменной поверхности. Повышение шероховатости каналов улучшает теплообмен, но увеличивает акустические и гидравлические потери. Рост коэффициента теплопроводности материалов СТЕКов позволяет повысить холодопроизводительность, но и увеличивает потери от теплопроводности по длине СТЕКов.

На рис. 3 показано распределение температур по длине теплого СТЕКа при различных режимах работы ТАО, где видно, что оно может быть как практически линейным, что благоприятно сказывается на КПД, так и нелинейным.

В заключение следует отметить, что ТАО могут работать практически от любого источника теплоты: изотопных источников, электрических нагревателей, работающих от солнечных батарей, а в ряде случаев на теплоте, отводимой от оборудования КА.

Литература

1. **Карагусов В.И., Ляпин В.И., Громов А.В.** Комбинированные системы охлаждения для орбитальных комплексов / Сб. докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения». – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. – Ч. 1. – С. 204-206.
2. **Grezin A.K., Karagusov V.I., Gorovoy Y.M.** Analysis of the regenerative cycles in miniature magnetocaloric cryogenic system // Proceedings of the XVIII International Congress of Refrigeration. – Canada. – Montreal. – 1991 – V. 1. – P. 185-189.
3. **Karagusov V.I.** Nanocryogenic engineering // Chemical and Petroleum Engineering. – 2003. – Vol. 39. – № 7-8. – P. 400-408.
4. **Karagusov V.I., Tyatyushkin N.V., Karagusova E.E.** Two-stage Gifford–MacMahon microcryogenic system for operation at subhelium temperature // Chemical and Petroleum Engineering. – 2009. – Vol. 45. – № 1-2. – P. 77-80.
5. **Карагусов В.И., Красночуб Е.К., Ляпин В.И., Крошин В.М.** Исследование принципов построения бортовых криогенных систем охлаждения на базе газовых криогенных машин Стирлинга для аппаратуры инфракрасного наблюдения / Сб. научно-технических статей по ракетно-космической тематике. – Самара: ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», 2001. – С. 72-84.
6. **Карагусов В.И., Мальцев П.С.** Бортовой термоакустический кондиционер на природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 45-47.
7. **Карагусов В.И., Юша В.Л., Карагусов И.В.** Термоакустический ожижитель природного газа для заправки речных судов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 2. – С. 66-68.

2014-й – Год экологической культуры

На совещании руководителей экологических служб дочерних обществ ОАО «Газпром» были подведены итоги Года экологии в компании.

Дочерними обществами ОАО «Газпром» в 2013 г. было реализовано более 8 тыс. мероприятий в рамках Года экологии. Общее число участников мероприятий составило более 70 тыс. сотрудников Группы «Газпром» и около 90 тыс. вовлеченных (школьники, студенты, члены семей сотрудников, представители местной общественности).

По всей стране сотрудники компании очистили свыше 4,1 тыс. га территорий городских, сельских поселений и зон отдыха, высадили более 284 тыс. деревьев. В реки и водоемы европейской части страны, Сибири, Камчатки, Сахалина выпущено более 18,7 млн мальков рыб ценных пород. В дочерних обществах переведено на газ более 1000 ед. автомобильной техники.

Затраты Группы «Газпром» на природоохранные цели достигли в 2013 г. рекордного показателя и составили 59,36 млрд руб. В том числе на строительство объектов, связанных с охраной окружающей среды, компания в прошлом году направила 24,95 млрд руб., на сбор и очистку сточных вод – 12 млрд, на предотвращение загрязнения воздуха и почвы – 5,82 млрд. За последние пять лет общие затраты Группы «Газпром» на охрану природы составили около 165,5 млрд руб.

На совещании было отмечено, что Газпром уделяет вопросам экологии самое пристальное внимание. Многие годы компания ведет системную и масштабную работу по защите природы в интересах всего общества.

Помимо выполнения обязательных требований российского и международного законодательства, Газпром принимает добровольные обязательства в области экологии. Среди них – принятие и выполнение Экологической политики, сокращение выбросов парниковых газов. Компания раскрывает экологическую информацию в соответствии с международными стандартами – с большим числом показателей. В частности, ежегодно публикует Экологический отчет и регулярно издает Отчет о деятельности в области устойчивого развития в соответствии с Global Reporting Initiative (Всемирная инициатива по отчетности). В России только Газпром имеет собственную экологическую инспекцию. Газпром также является единственной отечественной компанией, все инвестиционные проекты которой проходят корпоративную экологическую экспертизу.

С целью обеспечения компетентности персонала в области охраны окружающей среды в Группе «Газпром» организовано обучение руководителей и специалистов.

В компании внедрена и сертифицирована на соответствие стандарту ISO 14001 система экологического менеджмента. Она сформирована как вертикально интегрированная и объединяет органы управления в области охраны окружающей среды головной компании и дочерних обществ, занятых в добыче, транспортировке, подземном хранении и переработке газа.

Системная работа Газпрома в области экологии дает весомые результаты – основные показатели воздействия компании на окружающую среду стабильно улучшаются. Так, в 2009-2013 гг. выбросы в атмосферу всех предприятий Группы «Газпром» уменьшились на 9,2 %, количество отходов – на 9,9 %, потребление воды – на 11,3 %. Реализация Программы энергосбережения в 2011-2013 гг. позволила сэкономить 7,34 млн т у.т., в том числе 6,13 млрд м³ природного газа и 790,8 млн кВт/ч электроэнергии, что обеспечило предотвращение выбросов более 23 млн т парниковых газов в эквиваленте к CO₂. В настоящее время в компании принята Программа энергосбережения на 2014-2016 гг. Она предусматривает экономию 6,23 млн т у.т., в том числе 5,26 млрд м³ газа и 566,4 млн кВт/ч электроэнергии.

С учетом положительных итогов Года экологии было принято решение о проведении Года экологической культуры в 2014 г. и утвержден соответствующий план мероприятий.

Особое внимание в рамках Года экологической культуры будет уделено экологическому просвещению населения, персонала Группы «Газпром» и подрядных организаций. В дочерних обществах Газпрома, институтах, школах, общественных организациях по всей стране будет организовано около 6 тыс. мероприятий – тематические семинары, круглые столы, научно-практические конференции, выставки, олимпиады, публичные лекции.

Управление информации ОАО «Газпром»



Дистанционный лазерный газоанализатор нового поколения, размещаемый на беспилотном летательном аппарате

В.А. Табарин, профессор Тюменского государственного университета, д.ф.-м.н.,
А.В. Шестаков, начальник отдела НИИ ПОЛЮС им. Стельмаха, к.ф.-м.н.,
Ю.В. Чжан, главный конструктор ООО «Оптоэлектронные системы»,
А.А. Ермаков, менеджер ООО «Оптоэлектронные системы»,
А.И. Палант, директор ООО «Оптоэлектронные системы»

Статья посвящена газоанализатору (ГА), который отличается рядом новых подходов, в том числе возможностью установки на беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Описано перспективное устройство импульсного лазерного сканирования, которое, не уступая характеристикам существующих газоанализаторов для пилотируемых вертолетов, предназначено для подвеса на БПЛА.

Ключевые слова:

газоанализатор, беспилотный летательный аппарат, магистральные газопроводы, оптический переключатель, тепловизор.

В настоящее время для доставки природного газа потребителям построены сотни тысяч километров магистральных газопроводов (МГ) только в России. Предлагаемый газоанализатор несложно настроить на любой БПЛА, существующий сегодня на рынке. Значительно меньшие по сравнению с вертолетными вариантами габариты и масса предлагаемого прибора, использование дифференциального метода обнаружения мест утечек газа из МГ, разделение алгоритма обработки сигналов в бортовом процессоре и отдельно в наземном вычислительном комплексе, применение для мониторинга вместо зигзагообразной траектории полета специального метода сканирования

лучами лазера в прямолинейном движении летательного аппарата – все это многократно удешевляет контроль газовых трасс без потери его скорости и надежности.

Газоанализатор определяет место утечки газа в ppm (одна молекула газа на миллион молекул атмосферы воздуха). Применяемый в приборе дифференциальный метод основан на измерении энергии двух последовательных сигналов с различными длинами оптических волн. При этом первый сигнал поглощается метаном, второй не поглощается. Существенное различие энергий этих сигналов, отраженных от сканируемой местности, определяет место утечки газа. Длина второй оптической волны может

быть выбрана из расчета ее непоглощаемости этиленом, который генерируется в атмосфере при пожарах.

К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт использования лазерных газоанализаторов и тепловизоров (ТПВ) для обнаружения утечек из трубопроводов. Однако разработанные лазерные ГА эксплуатируются на пилотируемых вертолетах, поэтому требуют значительных затрат и не полностью удовлетворяют всем требованиям при обследовании трассы.

Блок-схема предлагаемого газоанализатора

Один из методов прямого контроля утечки углеводородов из МГ – это дифференциальный способ сравнения лазерных сигналов, прошедших через атмосферу исследуемого газа.

В устройстве предусмотрены четыре ре канала: два для излучения сигналов двух разных длин волн и два для контроля, необходимого при отслеживании изменения длины волны лазера. В целях минимизации массы и габаритов прибора используется оптический переключатель (ОП), совмещающий приемно-передающую систему в одном блоке.

Для засветки исследуемого объекта импульсным лазером применяется специальный сканер, который позволяет сканировать трассу перпендикулярно вектору скорости полета БПЛА. Получаемая на борту информация оптимизируется по объему и сохраняется в устройстве долговременной памяти, а затем после переноса в наземный измерительный комплекс используется для определения параметров и координат мест утечки газа. Конечный продукт представляется в виде наглядного отчета заинтересованным пользователям.

Блок-схема описываемого ГА приведена на рис. 1.

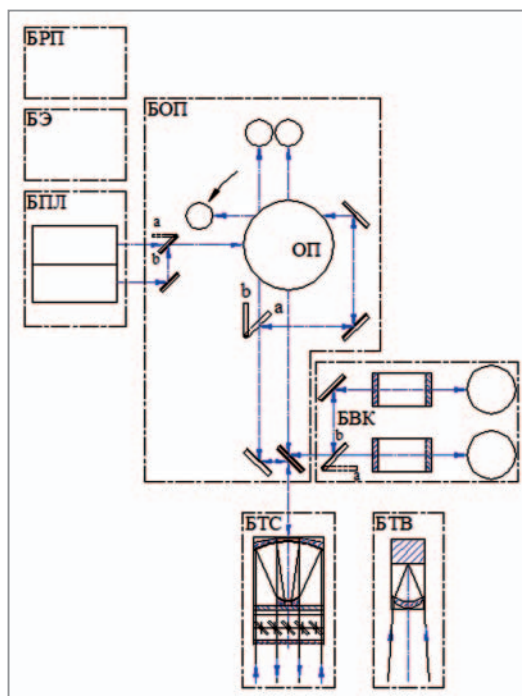


Рис. 1. Принципиальная схема лазерного газоанализатора (все блоки, за исключением БРП, размещаются на летательном аппарате):

БРП – блок наземной обработки данных, в котором в соответствии с заданной программой осуществляются математические операции обработки полученных данных;

БЭ – блок электронный (управляет работой всего устройства и хранит собранную информацию);

БПЛ – блок параметрических или полупроводниковых лазеров;

БОП – блок оптического переключателя;

БВК – блок встроенного контроля;

БТС – блок телескопа и сканера;

БТВ – блок телевизионного тракта (возможна замена на тепловизионный тракт)

Блок оптического переключателя

Для реализации дифференциального метода необходимо управлять двумя лазерами на двух разных длинах волн (поглощаемых и не поглощаемых исследуемым газом), переключать излучение на две эталонные кюветы с контролем

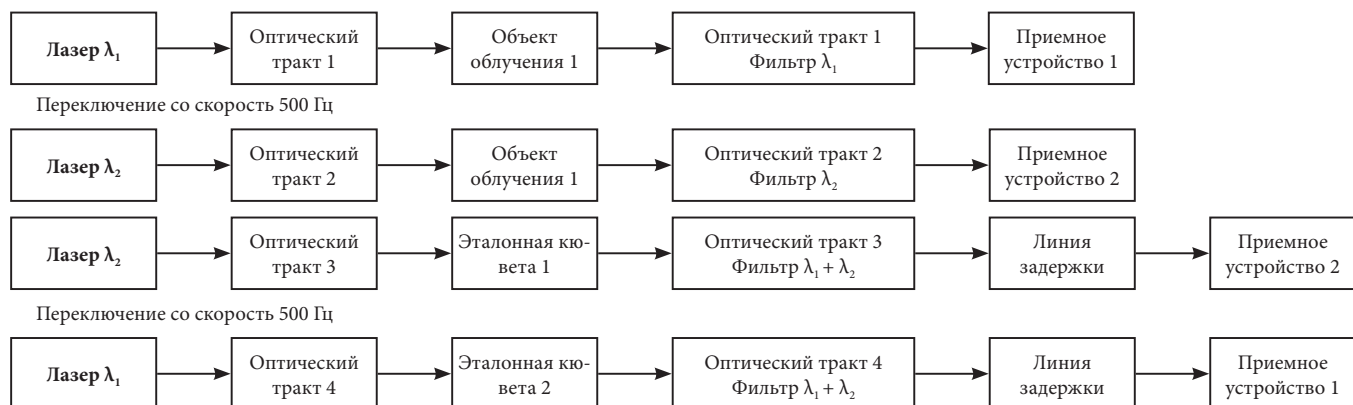


Рис. 2. Принципиальная схема коммутации в традиционном представлении

изменения длины волны, коммутировать входной и выходной зрачок, а также приемники на каждую длину волны, отслеживать прохождение сигналов по линии задержки [1] (рис. 2).

Очевидно, что при наличии двух лазеров и одного оптического приемного устройства за счет оптимальной коммутации сигналов можно значительно уменьшить массу и габариты прибора. Используя явление полного внутреннего отражения [2], можно создать конструкцию, которая будет вращать призму с заданной скоростью

и контролировать угол поворота, чтобы синхронизировать излучение лазеров. Поскольку сигналы поступают последовательно, то можно использовать один сенсор (диапазон от 1 до 1,7 мкм), соединив оптическим волокном все выходы принимаемого излучения от ОП.

На рис. 3 представлены четыре различных последовательности излучаемых сигналов в зависимости от угла поворота ОП. Время задержки между соседними импульсами разных лазеров 500 мкс.

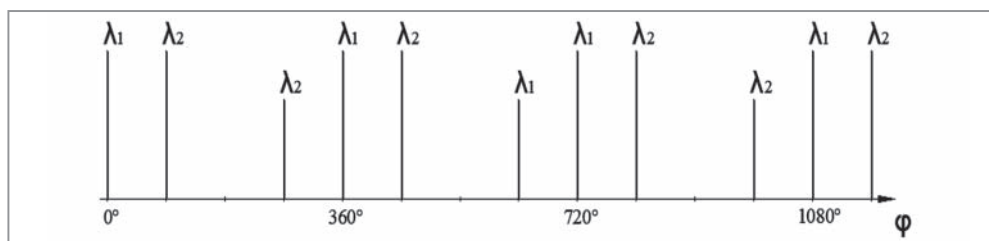


Рис. 3. Последовательность переключения ОП лазерных линий

Схема работы ОП за один оборот приведена в патенте [3].

Параметры

Скорость вращения, оборот/с	≤ 500
Минимальный интервал между излучениями волн разных длин, мс	≥ 0,5
Спектральная прозрачность переключателя, мкм	1–1,7
Длительность импульса лазера, нс	От 1 до 10
Диаметр, мм	
входных зрачков	16
зрачка телескопа	100
Частота следования импульсов излучения лазеров, кГц	2
Допустимые мощности излучения в ОП, Дж/см ²	2

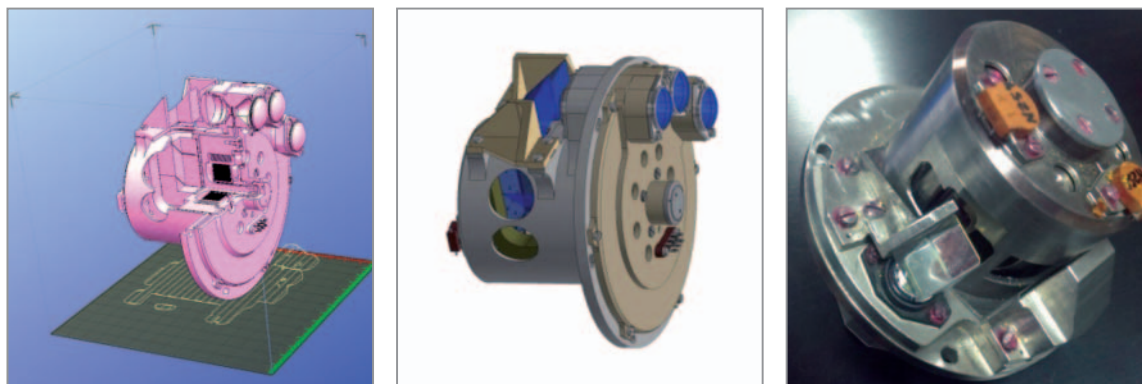


Рис. 4. Примеры действующих ОП

Авторами разработан и изготовлен ОП с оптимальной коммутацией используемых каналов. Кроме того, создана и запатентована 3D-модель трехканального ОП (рис. 4) [3].

Блок лазеров

В ходе исследования спектра метана (рис. 5) было выявлено несколько линий поглощения, но по соображениям наибольшей доступности была выбрана линия на 1653 нм, а также контрольная на 1625 нм, для которых имеются источники и приемники, не требующие криоохлаждения.

Для длин волн $\lambda_1=1625$ нм и $\lambda_2=1653$ нм может быть выбран полупроводниковый или параметрический генератор света.

Выбор конкретного лазера зависит от технических требований к ГА.

Полупроводниковый лазер относительно недорог, его параметры – мощность излучения на линиях 1653 и 1625 нм около 40 мВт, масса не более 0,8 кг – для данного ГА приемлемы, однако ограниченная мощность излучения предъявляет повышенные требования к чувствительности приемного тракта. Для обеспечения работы на двух различных длинах оптических волн необходимы, очевидно, два таких лазера.

Предлагаемый фирмой «ПОЛЮС» твердотельный лазер массой до 2 кг значительно дороже, однако обладает достаточно большой мощностью. В его конструкции совмещены два требуемых лазера, что позволяет обеспечить больший диапазон высот контроля МГ.

Блок телескопа, сканера и телевизионного тракта

Используемый метод отличается от применяемого в других системах последовательными проходами сканирования по одинаковым направлениям, перпендикулярным вектору скорости полета летательного аппарата (ЛА). Этот метод реализуется специальным алгоритмом сложения векторов скорости полета ЛА и движения точек сканирования по отклоненной на определенный угол линии сканирования.

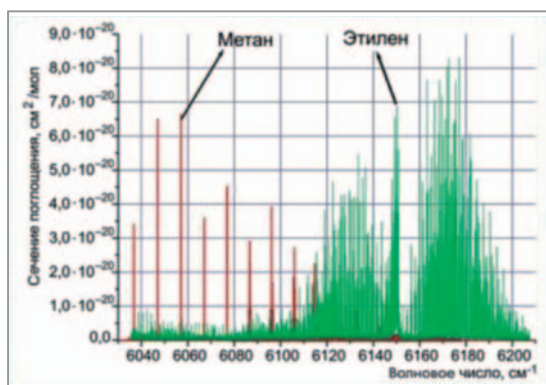


Рис. 5. Спектр метана и этилена и их линии поглощения (мол – молярный коэффициент поглощения газа)

Приводимая ниже формула содержит в качестве параметров данные трассы, которая понимается как плоская полоса, в которой располагаются и движутся линии, точки и овалы сканирования, соответствующие движению ЛА и операциям находящегося на ЛА сканера. Расчетная формула имеет вид

$$m+b=V(t+\tau),$$

где m – размер зоны, не просвечиваемой овалами сканирования, м; b – продольный (параллельный V) диаметр овала сканирования, м; V – скорость движения ЛА, м/с; t – время одного прохода сканирования перпендикулярно вектору V , с; τ – время настройки сканера на следующий проход после завершения текущего прохода, с.

Величины t и b определяются с использованием тригонометрии по высоте полета, ширине трассы и частоте сканирования, а также по углу диаграммы направленности луча сканера и углу наклона луча сканера к плоскости трассы (рис. 6).

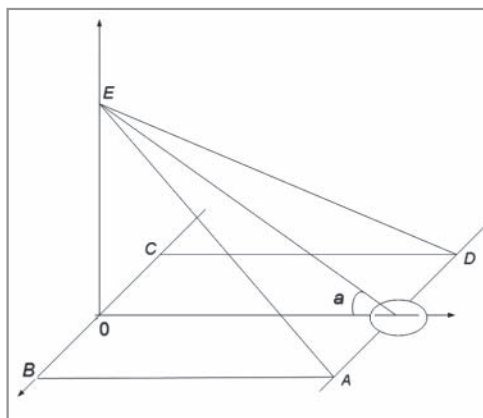


Рис. 6. Схема сканирования телевизионным трактом, который обеспечивает видеофиксацию трассы днем и ночью за счет контраста в диапазоне $\lambda=0,4 \dots 0,9$ мкм, или сканирования ТПВ-трактом, который обеспечивает обнаружение места утечки газа при температурном контрасте в случае дросселирования газа:
 BC – ширина трассы; OE – высота полета;
 $ABCD$ – участок трассы; a – угол наклона луча сканера к трассе

Блок встроенного контроля

Для программного контроля используется линия задержки, в которую поступает отраженный от заданной среды лазерный импульс. Циклически проходя по линии задержки он ослабляется до минимума, обнаруживаемого фотоприемным устройством с определенной пороговой чувствительностью, и по числу циклов можно оценить работоспособность прибора. Полнота программного контроля основана на использовании двух последовательных импульсов на различных длинах оптических волн. Первый импульс на длине волны λ_1 проходит через первую кювету с газом, поглощающим эту длину волны, а второй на длине волны λ_2 направляется через вторую кювету с газом, поглощающим излучение на этой длине волны. В расчетах используется известная формула

$$m-1 = \ln \left(\frac{h_1^2 h_3^2 F_0 (2bkL - \ln((1-h_1)r))}{P_{\text{пор}} s (1-h_1)} \right),$$

где $m-1$ – число циклов прохода излучения через оптическое волокно; h_1 – коэффициент пропускания зеркала перед объективом; h_3 – коэффициент пропускания наклонной плоскопараллельной пластины; F_0 – мощность импульса, зависящая от длины волны и соответствующего коэффициента поглощения в кювете; b – удельная величина ослабления оптического излучения в оптическом волокне; $k=0,1 \cdot \ln 10=0,2302585092994045684$; L – длина оптического волокна; r – коэффициент отражения зеркального покрытия торца оптического волокна; $P_{\text{пор}}$ – пороговая чувствительность фотоприемного устройства; s – заданное отношение сигнал/шум.

По найденному значению $m-1$ определяется максимальное время задержки

$$T_{\text{max}} = \frac{2nL(m-1)}{c},$$

где n – показатель преломления оптического волокна; c – скорость света (0,3 км/мкс).

В общем случае величины b , F_0 , r и коэффициенты пропускания зависят от стабильности длины волны лазера и окружающей температуры, которая влияет на коэффициент преломления оптических материалов. Методы учета этих факторов могут быть применены в конкретных алгоритмах, но в данной статье не рассматриваются ввиду их сложности и эмпирического характера соответствующих формул.

Блок бортового вычислителя

Ввиду значительной загрузки процессора текущими операциями обработки результатов сканирования трассы целесообразно возложить наиболее трудоемкую часть работы на наземный комплекс, а на борту выполнять только минимум действий, необходимых и достаточных для успешной последующей обработки данных на земле. Далее используются сведения и обозначения из описания метода сканирования.

Прежде всего, ввиду малости t и τ (доли секунды) можно считать практически постоянными на проходе параметры GPS, взятые за время τ от бортового процессора ЛА, и запоминать их только один раз в начале прохода. Точно так же можно запомнить расстояние между смежными точками сканирования и другие неизменные или медленно меняющиеся параметры. Таким образом, при наземной обработке для определения реальных координат точки сканирования трассы на проходе достаточно знать только порядковый номер точки. При использовании дифференциального метода в каждой точке сканирования определяется разность мощностей, принятых фотоприемным устройством на двух

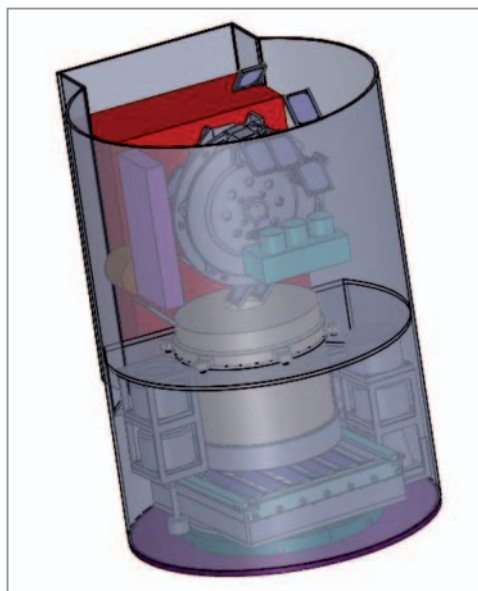


Рис. 7. Общая компоновка всех блоков в единое устройство ГА

разных длинах волн. Очевидно, что на проходе сканирования достаточно запоминать величины s и порядковые номера точек, в которых величина s превышает некоторое пороговое значение. В результате можно существенно сократить подлежащий запоминанию объем информации.

Предлагаемое устройство для мониторинга утечек газов согласно предложенной принципиальной схеме показано на рис. 7.

Таким образом, предложена функциональная и принципиальная схемы дифференциального лазерного ГА для установки его на беспилотный летательный аппарат. Применение оригинальных конструкций основных блоков ГА позволило существенно снизить стоимость, массу и габариты лазерного локалятора без ущерба для его функциональных возможностей.

Литература

1. Чжан Ю.В. Патент RU 2453866 «Оптический локаатор кругового обзора 2» от 27.05.2009 г.
2. Харрик Н. Спектроскопия полного внутреннего отражения. – М.: Мир, 1970.
3. Чжан Ю.В. Патент RU 2029239 «Устройство для ориентирования светового луча» от 08.04.1992 г.

Обсужден Рейтинг экологической ответственности нефтегазовых компаний



17 июня в рамках 21-го Мирового нефтяного конгресса состоялось первое открытое обсуждение методологии Рейтинга экологической ответственности нефтегазовых компаний РФ, учрежденного компанией CREON Energy совместно с WWF России для оказания содействия эффективному использованию углеводородных ресурсов, защиты окружающей среды и популяризации социально-ответственного бизнеса в России.

К обсуждению были приглашены ведущие отраслевые эксперты, экологи и представители нефтегазовых компаний страны, участвующих в Рейтинге. Мероприятие прошло динамично, некоторые пункты методологии вызвали яркую и живую дискуссию.

Так, представители компаний «Газпром», «Газпром нефть», «Новатэк», «Сахалин Энерджи», «Сургутнефтегаз», KPMG, Интерфакс-ЭРА высказали ценные замечания и предложения технического характера, которые зафиксированы группой разработчиков и будут активно использованы в дальнейшей работе. В частности, было предложено ввести ряд показателей, отражающих специфику газовых компаний. В настоящий момент большинство критериев применимо к нефтяным компаниям, и необходимо доработать и усилить блок критериев оценки компаний, специализирующихся на добыче, переработке, транспортировке, хранении и использовании газа. Например, в Рейтинге указано производство экологических видов жидкого топлива класса Евро-3 и выше, но совершенно не отражены программы перехода на газомоторное топливо.

Также активно обсуждался вопрос формального наличия у компаний различных документов, обязательств и их реального исполнения. Приоритетом учета в рейтинге должно стать реальное положение дел.

Вопрос информационной открытости и размещения информации в сети Internet также был затронут в обсуждении, в частности, высказаны опасения относительно доступности сети в зоне реализации некоторых проектов, трудностей с размещением больших объемов информации, возможных ограничений в связи с коммерческой тайной, личными данными и т.д.

Для продолжения успешно начатого обсуждения и совершенствования Рейтинга с участием представителей бизнеса предложено создать электронную дискуссионную группу, в которой можно было бы рассматривать конкретные вопросы и проблемы.

Представителей нефтяных компаний волновал вопрос статусности представленного Рейтинга. Многих интересовало, насколько он может заслуживать доверия, как к нему отнесутся российские власти, а также каковы целевые аудитории, на которые рассчитан Рейтинг. В этой связи следует отметить, что инициаторы создания Рейтинга – компания CREON Energy и WWF России – имеют достаточный вес и авторитет как в бизнес-среде, так и среди российских властей. Сам Рейтинг и его результаты будут активно доводиться до органов государственного управления, со стороны которых в последние годы растет интерес к независимым оценкам работы государственных структур, российского бизнеса и т.д. Тем не менее организаторы видят свою задачу не только в разработке оценок, но и в стимулировании активного обсуждения проблем с участием самих нефтегазовых компаний. Рейтинг станет частью большого процесса по усилению социальной ответственности бизнеса, производственных компаний, финансовых структур.

Новые технологии использования природного газа

Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) Российской Федерации в январе 2012 г. выдала ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» патент № 2440918 на изобретение «Система заправки газом баллонов высокого давления космического объекта и способ ее эксплуатации». Авторы полезной модели – Н.Н. Тупицин, Р.Э. Катков, А.М. Егоров, О.В. Киселева, В.И. Федоров, М.В. Рожков.

Изобретения относятся к двигательным установкам космических объектов с криогенным топливом. Система (рис. 1) включает криогенный топливный бак 1, бак 6 с высококипящим компонентом, баллоны высокого давления 10, разъемное соединение 16, зарядный клапан 9, пусковой клапан 13, редуктор 12 и датчик 11 давления газа в баллонах 10, а также потребителей 14 газа. С помощью теплообменника 5 испаряют криогенный компонент при его теплообмене с баком 6. В трубопровод 15 последовательно включены насос 2 и клапан 3 подачи криогенного компонента из бака 1 в теплообменник 5, а также обратный клапан 4. Выход теплообменника 5 сообщен с входом в баллоны 10. Датчик 11 электрически связан с клапаном 3 и насосом 2.

В процессе подготовки космического объекта к пуску производится зарядка баллонов 10 в два этапа. Сначала их предварительно заряжают от наземной системы стартового комплекса через разъем 16 и клапан 9 до промежуточного давления. Этим исключают недопустимый прогрев баллонов 10 и газа в них. На втором этапе при заправленных топливных

баках 1 и 6 дозаправляют баллоны 10 до конечного давления путем подачи криогенного топлива насосом 2 из бака 1 в теплообменник 5. Температура баллонов 10 и газа в них усредняется, исключается их перегрев. В полете ведут подзарядку баллонов 10, подавая насосом 2 криогенный компонент из бака 1 в теплообменник 5.

Техническим результатом изобретений являются обеспечение работы систем космического объекта в полете при минимальном объеме и массе газа в баллонах высокого давления, расширение функциональных возможностей космического объекта, упрощение и удешевление наземной системы зарядки баллонов высокого давления газом.

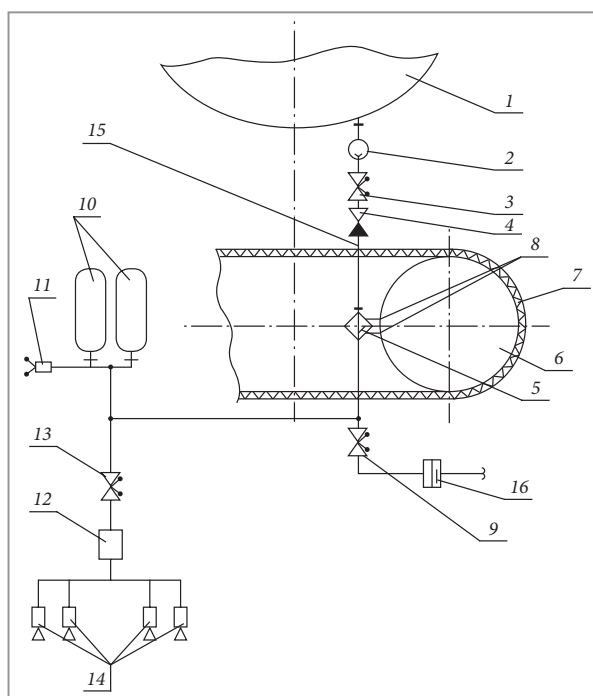


Рис. 1

Введением предлагаемой системы и способа ее эксплуатации обеспечивается следующее:

- работа потребителей газа при минимальном объеме и массе газа и баллонов высокого давления;
- расширение функциональных возможностей космического объекта в течение всего времени его полета за счет использования газа для работы большего числа потребителей (например, для наддува баков, управления клапанами двигательной установки, работы системы ориентации и стабилизации космического объекта и т.д.), при этом количество газа, необходимого для работы потребителей, при необходимости обеспечивается испарением криогенного компонента, взятого из основного топливного бака космического объекта;
- значительное упрощение и удешевление наземной системы и технологии зарядки баллонов высокого давления газом на стартовом комплексе.

Кроме того, увеличивается время пребывания космического объекта в космических условиях за счет использования криогенного топлива для подзарядки баллонов высокого давления в полете.

Описание и формула изобретения опубликованы в открытом реестре Роспатента. Срок действия патента – 20 лет.

* * *

Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) Российской Федерации в июле 2012 г. выдала ОАО «Научно-производственное объединение «ГЕЛИЙМАШ» патент № 118717 на полезную модель «**Бак криогенный топливный транспортного средства, работающего на сжиженном природном газе**». Авторы полезной модели – Ю.В. Колгушкин, О.М. Попов, И.Н. Протасова и В.Н. Удут.

В предложенном криогенном топливном баке транспортного средства, работающего на сжиженном природном газе, состоящем из двух сосудов, расположенных один внутри другого, теплоизоляции

в межстенном пространстве сосудов, компенсационной емкости, расположенной во внутреннем сосуде, трубопроводов заправки и выдачи топлива, предохранительной и регулирующей арматуры, трубопровод заправки топлива снабжен устройством для струйного ввода топлива в бак, а полость компенсационной емкости соединена с верхней частью объема внутреннего сосуда. Установка на трубопроводе заправки топлива устройства для его струйного ввода в бак и соединение полости компенсационной емкости с объемом внутреннего сосуда бака соединительной трубкой и сливной трубкой с обратным клапаном обеспечивают возможность бездренажной заправки бака топливом и строго определенного объема парового пространства в компенсационной емкости к концу заправки бака.

Устройство работает следующим образом (рис. 2).

Топливо от внешнего реципиента (на рис. 2 не показан) через горловину 23 по трубопроводу 11 поступает в устройство ввода 9 и через отверстия 10 струйно вводится в сосуд 3, при этом вентили 15, 21 и 27 закрыты. Струйный ввод топлива в бак позволяет значительно увеличить поверхность контакта вводимой жидкости и пара, заполняющего сосуд. В результате контакта пар

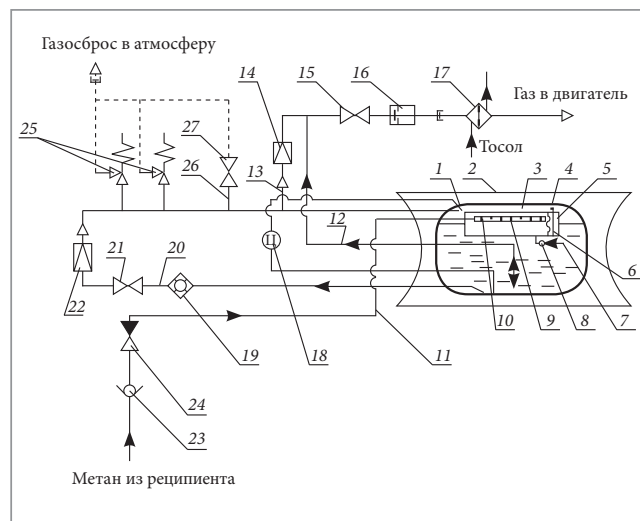


Рис. 2

конденсируется, давление в сосуде падает и производится бездренажная заправка бака топливом.

Заправка продолжается до 100 % наполнения сосуда. При этом объем компенсационной емкости остается заполненный паром и используется для возможного термического расширения жидкости.

После окончания заправки вентиль 21 открывается. Если в сосуде 3 после заправки давление ниже рабочего, то открывается регулятор давления 22, жидкая фаза топлива поступает за счет гидростатического давления в испаритель наддува 19, где испаряется, и газ наддува поступает в верхнюю часть сосуда 3, поднимая в нем давление до рабочего значения. Система готова к работе. Плавно, чтобы не закрылся скоростной клапан 16, открывается вентиль 15, и через открытый клапан 16 топливо поступает в двигатель транспортного средства. Причем если давление в сосуде 3 выше верхней границы заданного рабочего давления, то открывается регулятор давления 14, и топливо в двигатель поступает по трубопроводу 13 из газовой полости сосуда 3, понижая в нем давление до рабочего. После снижения давления до рабочего регулятор давления 14 закрывается, и в двигатель начинает поступать жидкая фаза топлива по трубопроводу 12 из нижней части сосуда 3. Процедура наддува (подъем давления в баке до заданного рабочего значения) происходит автоматически, благодаря регулятору давления 22. Вентили 15 и 21 при работе двигателя открыты. Закрываются они только при длительной остановке транспортного средства и при заправке криогенного бака 1 топливом.

Целью предлагаемого технического решения является обеспечение струйного ввода топлива в бак и строго определенного объема парового пространства в компенсационной емкости в конце заправки.

Описание и формула полезной модели опубликованы в открытом реестре Роспатента. Срок действия патента – 10 лет.

* * *

Федеральная Служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) Российской Федерации в ноябре 2013 г. выдала ООО «Газпром ВНИИГАЗ» патент на изобретение № 2499208 «Способ частичного сжижения природного газа». Авторы изобретения – С.П. Горбачев, С.В. Люгай, И.С. Медведков.

Изобретение относится к области сжижения газов и их смесей, в частности к частичному сжижению природного газа на газораспределительных станциях. Способ включает разделение потока природного газа высокого давления на технологический и производственный потоки. Производственный поток подвергают осушке и очистке от CO_2 , последовательно охлаждают в предварительном, основном и дополнительном теплообменниках, дросселируют и разделяют образованную парожидкостную смесь на паровую и жидкостную фазы с последующим направлением в обратный поток несконденсировавшегося природного газа. Технологический поток газа осушают, охлаждают, после чего расширяют в дроссельном вентиле первой ступени, затем дополнительно охлаждают и расширяют в дроссельном вентиле второй ступени и смешивают с нагретым в дополнительном теплообменнике обратным потоком несконденсировавшегося природного газа. Температуру газа перед дроссельным вентилем второй ступени выбирают минимально допустимой, при которой не происходит кристаллизация CO_2 после прохождения газа через дроссельный вентиль второй ступени.

Изобретение позволяет повысить производительность и надежность процесса сжижения природного газа, имеющего в исходном составе большое содержание диоксида углерода, а также уменьшить долю высококипящих компонентов в СПГ.

Поток газа высокого давления отбирают из источника высокого давления и разделяют на технологический (84 %) и производственный (16 %) потоки. Технологический поток направляют на адсорбционный блок осушки потока газа и прямым потоком пропускают через предварительный трехпоточный теплообменник, где его охлаждают обратным потоком до температуры 252 К, а затем направляют через дроссельный вентиль, в котором газ расширяют до промежуточного давления 2,5 МПа, после чего охлаждают в основном теплообменнике до температуры 182 К. Далее его расширяют в дросселе до давления трубопровода газа низкого давления с понижением температуры до 155 К (исходя из максимальной растворимости CO_2 в газе при давлении 0,6 МПа). Температура за дросселем определяет температуру перед ним, и в качестве обратного потока газ пропускают через основной и предварительный теплообменники, охлаждая прямые потоки.

Производственный поток пропускают через блок осушки и блок очистки и прямым потоком направляют последовательно через предварительный трехпоточный теплообменник, основной трехпоточный теплообменник и дополнительный теплообменник, где его охлаждают обратным потоком и расширяют, пропуская через дроссельный вентиль. После дросселирования газ направляют в сборник-сепаратор, затем жидкую фазу через трубопровод слива жидкости направляют в емкость для отправки потребителю, а несжиженную часть газа возвращают через линию обратного потока и теплообменники в трубопровод газа низкого давления.

Дополнительный теплообменник нагревает обратный поток до температуры, достаточной для того, чтобы при смешении технологического потока, имеющего температуру, близкую к температуре вымерзания углекислого газа, и обратного потока, имеющего наиболее низкую

температуру в установке, исключить выпадение CO_2 из смеси, поскольку присутствует повышенный риск этого выпадения.

Чтобы исключить выпадение твердых частиц CO_2 при расширении газа в дроссельном вентиле второй ступени, температура газа должна быть выше температуры кристаллизации CO_2 в одной и более фазах, образующихся при расширении. Для этого температуру газа перед дроссельным вентилем второй ступени выбирают минимально допустимой, при которой не происходит кристаллизация CO_2 . При дросселировании с заданным перепадом давления согласно эффекту Джоуля – Томпсона температура за дросселем зависит от температуры перед дросселем через соотношение

$$T_2 = T_1 - \alpha_h (p_1 - p_2),$$

где T_2 – температура за дроссельным вентилем второй ступени; T_1 – температура перед дросселем; α_h – дифференциальный температурный эффект дросселирования (для метана $\approx 0,5 - 0,7$ К/бар); p_1 – давление перед дросселем (задано); p_2 – давление за дросселем (задано).

Чтобы температура за дроссельным вентилем второй ступени (T_2) была больше температуры кристаллизации при p_2 ($T_{кр}$) при заданном перепаде давления температура перед дроссельным вентилем второй ступени (T_1) должна удовлетворять условию

$$T_1 = T_{кр} + \alpha_h (p_1 - p_2).$$

Схема простого дросселирования предполагает расширение потока сырьевого природного газа в дросселе производственного потока полностью. При этих параметрах тяжелые углеводороды и углекислый газ, присутствующие в исходном продукте, практически полностью сжижаются и растворяются в жидком метане. Доля их в СПГ естественным образом увеличивается. С разделением сырьевого потока на производственный и технологический баланс установки практически не меняется (коэффициент сжижения остается практически неизменным).

Однако за счет разделения величина производственного потока уменьшается. Тогда применимы следующие равенства:

$$\begin{aligned} k_{L1} &= G(1-\varphi_1); \\ k_{L2} &= G\psi(1-\varphi_2); \\ k_{L1} &\approx k_{L2}; \\ 1-\varphi_2 &\approx (1-\varphi_1)/\psi; \\ 1 &> \psi > 0; \\ \varphi_2 &< \varphi_1. \end{aligned}$$

Здесь k_{L1} , k_{L2} – коэффициенты сжижения простого и двухпоточного дроссельных циклов соответственно; G – массовый расход сырьевого газа; ψ – массовая доля производственного потока; φ_1 и φ_2 – массовое паросодержание в производственном потоке простого дроссельного и двухпоточного циклов соответственно.

Со снижением паросодержания уменьшается доля высококипящих компонентов в СПГ, следовательно, качество сжиженного природного газа повышается.

Описание и формула изобретения опубликованы в открытом реестре Роспатента. Срок действия патента – 20 лет.

Федеральная Служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) Российской Федерации в январе 2014 г. выдала ЗАО «МАЙММА Групп» патент № 136769 на полезную модель «Передвижной газозаправщик». Авторы полезной модели – С.П. Семенищев, П.Г. Килин, В.К. Попов, В.П. Глухов.

Полезная модель относится к передвижным газозаправщикам, предназначенным для заправки транспортных средств газом с давлением 20 МПа, а также использования в качестве резервных источников газа для магистральных газопроводов бытового потребления газа с давлением 0,6...1,0 МПа и бытовых потребителей газа с давлением 2,0...3,0 кПа.

Передвижной газозаправщик содержит газобаллонную установку с сосудами высокого давления, вход которой соединен с устройством заправки установки газом давлением 25 МПа, выход газобаллонной установки соединен с устройством заправки потребителя

транспортных средств газом давлением 20 МПа. Газозаправщик также содержит дополнительное устройство, которое включает напорные линии выдачи газа давлением 0,6...1,0 МПа и 2,0...3,0 кПа соответственно.

Одна из напорных линий содержит регулятор давления на 0,6...1,0 МПа, вход которого соединен через запорный кран с выходом регулятора давления на 20 МПа. Выход регулятора соединен с манометром, предохранительным клапаном и запорным краном на выходе напорной линии выдачи газа давлением 0,6...1,0 МПа.

Вторая напорная линия выдачи газа содержит регулятор на давление 2,0...3,0 кПа, вход которого соединен через запорный элемент с выходом регулятора на давление 0,6...1,0 МПа. Выход регулятора соединен с предохранительным клапаном, манометром и запорным краном на выходе напорной линии выдачи газа давлением 2,0...3,0 кПа. Расширяются функциональные возможности газозаправщика.

Работа передвижного газозаправщика осуществляется в следующей последовательности (рис. 3).

Заправка газозаправщика природным газом с давлением не менее 25 МПа производится на АГНКС. Через заправочное устройство 2 газ поступает

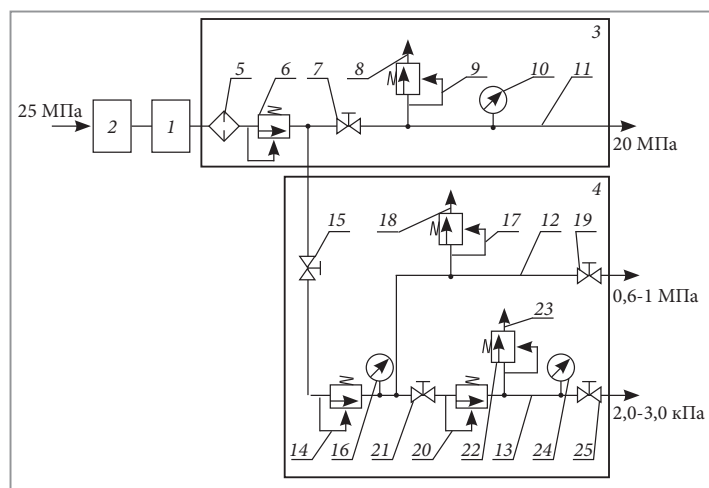


Рис. 3

в газобаллонную установку 1. Все запорные краны 7, 15, 19, 21, 25 находятся в закрытом положении. После заправки газом газобаллонной установки 1 газозаправщик перемещается к месту выдачи газа потребителям. При заправке газом транспортных средств открывают запорный кран 7, при этом газ, пройдя редуктор 6, через систему трубопроводов под давлением 20 МПа поступает в баллон (баллоны) транспортного средства.

При подключении газозаправщика к бытовым потребителям газа с давлением 2,0...3,0 кПа закрывают запорный кран 7 в устройстве 3 заправки потребителя транспортных средств, открывают запорные краны 15 и 21 в устройстве 4 выдачи газа. Затем после присоединения напорной линии 13 к газовой системе бытового потребителя (дача, коттедж, дом и т.п.) открывают запорный кран 25 и осуществляют подачу газа требуемого давления.

При подключении газозаправщика к магистральному газопроводу бытового потребления газа давлением 0,6...1,0 МПа (проведение ремонтных работ на каком-то участке трубопровода) запорные краны 7, 21 и 25 закрывают. После присоединения к ремонтируемому газопроводу открывают запорный кран 19 и осуществляют подачу газа требуемого давления.

Полезная модель может быть реализована на передвижном газозаправщике ПАГЗ 1140-25. Где 1140 – объем перевозимого КПП в нормальных кубических метрах, отнесенный к нормальным условиям (0,1 МПа и 20 °С), 25 – давление заправки в МПа. Газобаллонная установка 1 газозаправщика оснащена 21 баллонами БА 185.24,5.406/2005 ТУ 2296-009-13055988-2005, смонтированными в двух функциональных секциях на 6 и 15 баллонов.

Передвижной газозаправщик может быть использован как для заправки баллонов транспортных средств газом с давлением 20 МПа, так и для выдачи газа давлением 2,0...3,0 кПа и 0,6...1,0 МПа

различным потребителям, что расширяет его функциональные возможности.

Описание и формула полезной модели опубликованы в открытом реестре Роспатента. Срок действия патента – 10 лет.

* * *

Федеральная Служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) Российской Федерации в апреле 2014 г. выдала ООО «Газпром ВНИИГАЗ» патент на полезную модель № 139123 «Система поддержания теплового режима транспортного средства». Авторы полезной модели – С.В. Люгай, А.Н. Капитонов, А.А. Евстифеев, С.А. Мошков, М.Л. Балашов.

Формула полезной модели

1. Система поддержания теплового режима транспортного средства содержит предпусковой подогреватель двигателя транспортного средства. Предпусковой подогреватель включает камеру сгорания с входным газовым патрубком, теплообменную систему с циркуляционным насосом для охлаждающей жидкости двигателя транспортного средства, отличающуюся тем, что к входному газовому патрубку камеры сгорания предпускового подогревателя двигателя транспортного средства подключен газовый шланг, соединенный через распределительный газопровод с магистральным газопроводом низкого давления, при этом система управления предпускового подогревателя, а также связанные с ней исполнительные механизмы подключены к источнику электроэнергии, расположенному вне транспортного средства.

2. Система поддержания теплового режима транспортного средства отличается тем, что распределительный газопровод снабжен скоростным клапаном.

3. Система поддержания теплового режима транспортного средства отличается также тем, что газовый шланг подключен к входному газовому патрубку камеры сгорания предпускового подогревателя через запорный штуцер, снабженный обратным клапаном.

Научно-квалификационные работы

65

Успешная защита кандидатской диссертации Т.А. Авакян по теме «**Газификация горючих сланцев с целью получения моторных топлив и химических веществ**» состоялась в Диссертационном совете № Д.212.200.04 при РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина в декабре 2013 г. Научная специальность 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ», научный руководитель – член-корреспондент РАН, д.х.н., профессор А.Л. Липидус.

Цели работы: изучение процесса газификации горючих сланцев Ленинградского и Кашпирского месторождений в присутствии водяного пара; проведение синтеза алифатических углеводородов из модельных газовых смесей, близких по составу к синтез-газу, полученному газификацией горючих сланцев; изучение каталитической переработки продуктов газификации горючих сланцев с определением влияния катализатора на основные показатели процесса и построение математических зависимостей для термической и каталитической газификации горючих сланцев.

Актуальность исследования, по мнению автора, обусловлена непрерывным ростом потребления углеводородного сырья, основным источником которого являются горючие полезные ископаемые – нефть и природный газ, которые широко используются в энергетике, для получения топлив и химических продуктов. Однако для устойчивого развития страны сырьевая база промышленности должна быть гибкой и основываться на применении различных видов органического сырья. Поэтому все больший интерес во всем мире проявляется к твердым горючим ископаемым (ТГИ), обладающим высоким энергетическим потенциалом. В связи с этим в мировом топливно-энергетическом балансе все более важную роль будут играть угли

и горючие сланцы, запасы которых, в пересчете на эквивалентное топливо, в десятки раз превышают ресурсы нефти и природного газа. ТГИ отличаются сложным элементным составом, позволяющим получить широкую гамму продуктов. Термическая переработка горючих сланцев дает возможность получить газы, сланцевую смолу и минеральные вещества.

Одним из главных преимуществ горючих сланцев перед другими видами ТГИ является высокое содержание водорода в органическом веществе. Соотношение Н/С в их органической массе, достигающее в некоторых случаях 1,7 (нефть 1,9; уголь 0,4...0,5), обуславливает высокий выход газообразных и жидких продуктов при термической обработке. Кроме того, уникальный состав органического вещества позволяет считать перспективной не только энергетическую, но и химическую переработку этого вида горючих ископаемых. Возможность получения из горючих сланцев жидких и газообразных углеводородов, близких по составу и свойствам к нефтепродуктам и природному газу, позволяет рассматривать их как важнейшие стратегические ресурсы.

Перспективным путем использования горючих сланцев в качестве сырья для получения моторных топлив и химических продуктов является их газификация с дальнейшей переработкой полученных газообразных продуктов.

В ходе научного исследования автор определила оптимальные условия процесса газификации горючих сланцев Ленинградского и Кашпирского месторождений для получения синтез-газа, который может быть использован для синтеза моторных топлив и химических веществ, и провела изучение каталитической переработки продуктов газификации горючих сланцев с установлением влияния

катализатора на выход и состав газообразных продуктов, а также на выход сланцевой смолы.

Т.А. Авакян удалось осуществить синтез жидких углеводородов в присутствии кобальтовых катализаторов с использованием в качестве сырья модельных газовых смесей, близких по составу к газообразным продуктам газификации горючих сланцев, а затем предложить принципиальную схему двухступенчатой переработки горючих сланцев с получением из них моторных топлив и сырья для производства химических веществ.

По итогам защиты диссертации решением Диссертационного совета Т.А. Авакян была присвоена ученая степень кандидата технических наук. Решение Диссовета утверждено ВАК при Минобрнауки РФ.

* * *

Успешная защита кандидатской диссертации А.В. Стремякова по теме **«Улучшение показателей транспортного дизеля, работающего на дизельном топливе и смесевых биотопливах, путем совершенствования конструкции распылителей форсунок»** состоялась в 2011 г. в Диссертационном совете 212.141.09 при МГТУ им. Н.Э. Баумана. Научная специальность 05.04.02 «Тепловые двигатели», научный руководитель диссертанта – д.т.н., профессор В.А. Марков.

Своей целью автор научно-квалификационного исследования ставил достижение требуемых показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) транспортного дизеля, работающего на дизельном топливе и смесевых биотопливах, путем совершенствования конструкции распылителей форсунок.

Актуальность работы была обусловлена необходимостью совершенствования процессов распыливания топлива и смесеобразования для удовлетворения жестких требований к показателям топливной экономичности и токсичности ОГ транспортных дизелей. В двига-

телях с небольшим объемом камеры сгорания сложно организовать чисто объемное смесеобразование, обеспечивающее равномерное распределение топлива по объему камеры сгорания и наиболее полное сгорание топлива с наибольшей эффективностью рабочего цикла. Именно в этом случае целесообразно внесение изменений в конструкцию распылителей форсунок, способствующих улучшению распыливания топлива и смесеобразования.

При использовании биотоплив на основе растительных масел проблемы усугублялись отличиями свойств этих топлив от свойств ДТ. В этом случае реализация мероприятий, улучшающих распыливание топлива и смесеобразование, еще более актуальна. Использование смесевых биотоплив на основе растительных масел в сочетании с внедрением мероприятий по совершенствованию распыливания топлива и смесеобразования, по мнению исследователя, способствует достижению показателей топливной экономичности и токсичности ОГ в соответствии с современными требованиями.

Автор провел расчетные исследования параметров распыливания топлива и смесеобразования, показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов, влияния геометрии в проточной части распылителей форсунок на показатели потока топлива и параметры процесса распыливания топлива. В рамках исследовательского эксперимента определил показатели дизеля, оснащенного распылителями различных конструкций и работающего на различных топливах.

В итоге А.В. Стремякову удалось разработать методику определения показателей потока топлива в проточной части распылителей форсунок, топливной экономичности и токсичности отработавших газов двигателей, новые конструкции распылителей форсунок, обеспечивающие улучшение распы-

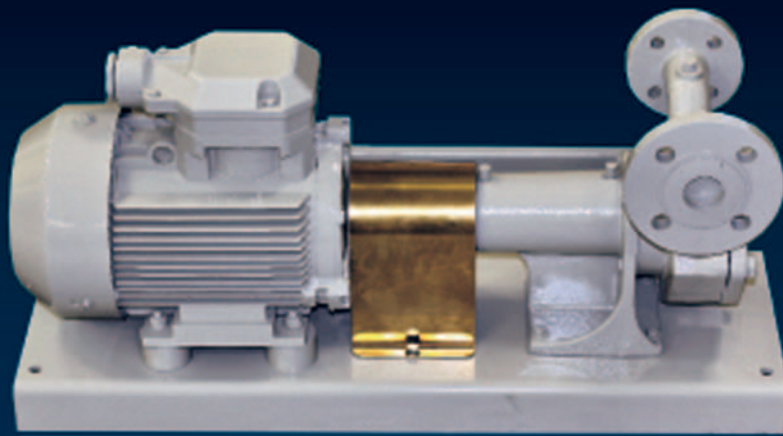
ливания топлива и смесеобразования, а также методику оптимизации состава смесового биотоплива с учетом характеристик топливной экономичности и токсичности ОГ.

Методика определения показателей потока топлива и проведенные расчетные исследования позволили выбрать оптимальную конструкцию распылителей форсунок. Новые конструкции форсунок обеспечат значительное улучшение топливной экономичности и токсичности ОГ. Методика оптимизации позволила автору сформулировать практические рекомендации по выбору состава смесового биотоплива, а проведенные экспериментальные исследования дизе-

ля, работающего на дизтопливе и смеси дизтоплива и метилового эфира рапсового масла, подтвердили эффективность использования разработанных распылителей форсунок.

Исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ МГТУ им. Н.Э. Баумана, результаты были внедрены в МГАУ им. В.П. Горячкина и ЗАО «Ногинский завод топливной аппаратуры» (г. Ногинск).

По итогам защиты диссертации решением Диссертационного совета А.В. Стремякову была присвоена ученая степень кандидата технических наук. Решение Диссовета утверждено ВАК при Минобрнауки РФ.



Насосы и насосные агрегаты Corken FD-150

производительность – 90 л/мин • максимальное дифференциальное давление – 1,5 бар • максимальная потребляемая мощность – 5,5 кВт
• лазерная центровка насосных агрегатов • постоянное наличие на складе в Санкт-Петербурге • цена – 80 тыс. руб.

CORKEN.

(495) 647 0577 • (812) 335 4950 • 318 7580 • INFO@CORKEN.SU

WWW.CORKEN.SU

Автопробег «Набережные Челны – Симферополь»

68

31 мая в Набережных Челнах от мемориального комплекса «Родина-мать» стартовала газобаллонная автотехника ОАО «КАМАЗ». Автопробег был посвящен популяризации газомоторного топлива в России и 45-летию это крупнейшего в России предприятия.



Старт автопробега



Техника готова к старту

Организаторами автопробега стали ОАО «КАМАЗ», официальный дистрибьютор его продукции с газовыми двигателями ООО «РариТЭК» и министерство энергетики Российской Федерации. Одна из основных задач автопробега – популяризация экономичного, экологичного и безопасного газомоторного топлива (метан), на котором и был пройден весь маршрут, а также повышение имиджа крупнейшего российского производителя грузовиков, отмечающего в этом году свое 45-летие.

В автопробеге приняли участие городской полунизкопольный автобус НЕФА3-5299-30-51, самосвал КАМАЗ-6520-33, мусоровоз КАМАЗ-4308, спортивный грузовик КАМАЗ-4911, а также автобус «Бравис» – первый опытный газовый образец совместного предприятия КАМАЗа и бразильской фирмы «Маркополо». В автопробеге также участвовал автопоезд, в составе которого был дизельный седельный тягач КАМАЗ-5490-001-68 с полуприцепом НЕФА3-93341-15-08.

На торжественной церемонии старта автопробега выступили заместитель руководителя исполнительного комитета Наталия Кропотова, заместитель директора департамента переработки нефти и газа минэнерго РФ Максим Лобанов, директор по газомоторной технике и диверсификации ОАО «КАМАЗ» Евгений Пронин и генеральный директор ООО «РариТЭК» Рафаэль Батыршин.

Общая протяженность маршрута составила 5800 км. После старта в Набережных Челнах колонна отправилась в Казань, далее следовали Ульяновск, Саратов, Волгоград, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Краснодар и Новороссийск. В рамках автопробега состоялись круглые столы, демонстрация автотехники, встречи с местными СМИ.

Участники автопробега прибыли в Саратов вечером 1 июня. В Саратовском автоцентре КАМАЗа были проведены мойка и подготовка автотехники к презентации на площади Ленина.

В осмотре техники приняли участие министр промышленности и энергетики Саратовской области Сергей Лисовский и заместитель главы администрации по городскому хозяйству Дмитрий Федотов. Далее был проведен круглый стол в комитете дорожного хозяйства с участием его руководителя Валерия Данилина, первого заместителя министра промышленности и энергетики Михаила Шихалова, руководителей городских транспортных предприятий, ООО «Саратовский автоцентр КАМАЗ» и ООО «Газпром трансгаз Саратов».

Заместитель генерального директора по продажам и развитию ООО «РариТЭК» Альфред Гатиятов выступил с презентацией по модельному ряду газовой техники КАМАЗ, а директор по продажам ОАО «ТФК «КАМАЗ» Руслан Зиятдинов – по программам субсидирования и мерам господдержки в 2014 г.

Далее автопробег взял курс на Ростов-на-Дону через город-герой Волгоград.

4 июня состоялась выставка-совещание по вопросу расширения использования газомоторного топлива на территории Ростовской области. На торжественной церемонии открытия мероприятия выступили министр промышленности и энергетики области Михаил Тихонов и заместитель генерального директора ОАО «КАМАЗ» по продажам и сервису Павел Каничев. КАМАЗ представил участникам и гостям газомоторные модели, участвующие в автопробеге. Вел выставку газомоторной техники Рафаэль Батыршин.

Затем в конгресс-холле технического университета состоялось совещание по вопросу расширения использования газомоторного топлива, на котором Р. Батыршин выступил с докладом «Газомоторные автомобили КАМАЗ на природном газе – как инструмент энергосбережения и энергоэффективности». Руководитель РариТЭКа рассказал о преимуществах выгодного, экологичного и главное безопасного автотранспорта для городов России, отметил, что Ростовская область уже эксплуатирует газомоторную автотехнику, а сеть газовых заправок (АГНКС) позволяет увеличить ее число. Также доклад о развитии сети газовых заправок сделал представитель компании «Роснефть».

В заключение совещания правительством Ростовской области и ОАО «КАМАЗ» было принято решение в ближайшее время подписать меморандум о взаимодействии в области применения природного газа в качестве моторного топлива на автотранспорте.

5 июня автокараван прибыл Ставрополь, где состоялись выставка и круглый стол по вопросу расширения использования природного газа в качестве моторного топлива.

Открыл выставку начальник отдела энергоресурсов и энергосбережения министерства энергетики, промышленности и связи Ставропольского края Василий Глушаков. В мероприятии также приняли участие проедставили КАМАЗа, ОАО «ТФК КАМАЗ», филиала «КАМАЗТЕХОБСЛУЖИВАНИЕ», ООО «РариТЭК», ООО «Газпром газомоторное топливо» и НК «Роснефть». Среди приглашенных были представители автотранспортных компаний, жилищно-коммунальных хозяйств и агропромышленного сектора. В общей сложности только круглый стол посетило более 80 представителей различных организаций и направлений.

Отрадно отметить, что большой интерес к данной теме проявила молодежь в лице студентов технических вузов и курсантов военного училища.

Далее, миновав паромную переправу в Феодосии, участники автопробега прибыли в Симферополь.

11 июня в Симферополе прошли широкомасштабные мероприятия, поводом для которых стало завершение автопробега. На площади Ленина колонна участников пересекла финишную черту. Горожане прибыли на площадь, чтобы ознакомиться с газовой техникой крупнейшего российского автогиганта.

Технику осмотрел также первый заместитель председателя совета министров Республики Крым Рустам Темиргалиев. «Очень важно для крымчан получить поддержку такой известной марки, как КАМАЗ. Мы посмотрели образцы техники, которые работают на метане. Если средняя цена бензина 32 рубля, то эта техника потребляет топливо, которое стоит 10 рублей. А мы очень скоро на газовых заправках выйдем на среднероссийский уровень цен», – пообещал вице-премьер.

Крымчане тепло встретили выступления Павла Каничева и заместителя министра энергетики РФ Кирилла Молодцова. С приветственными словами к собравшимся обратились представители правительства Крыма и Татарстана. Далее состоялось подписание соглашения о сотрудничестве между ОАО «КАМАЗ» и Республикой Крым, в честь памятных событий посажено дерево дружбы. Также было подписано соглашение между компаниями «РариТЭК» и «Юг-авто-метан» о развитии газомоторной техники в Крыму.

12 июня камазовская автотехника приняла участие в торжественных мероприятиях, посвященных Дню России, в Севастополе, а затем отправилась в обратный путь.

Особо следует отметить гостеприимство и поддержку, которые оказали сервисные центры КАМАЗа по ходу движения автопробега по городам России.

В качестве топлива на газобаллонных автомобилях (ГБА) производства ОАО «КАМАЗ» используется сжатый природный газ (СПГ), что позволяет значительно снизить количество токсичных веществ в выхлопных газах до уровня стандартов Евро-4 и Евро-5. Это особенно важно для больших городов, где львиная доля загрязнений воздуха приходится на автомобильный транспорт.

Стоимость СПГ в три раза меньше цены традиционного для грузовиков дизельного топлива. В результате газобаллонный автомобиль окупается быстрее дизельного, несмотря на его более высокую стоимость. В настоящее время линейка ГБА разнообразна и охватывает широкий спектр – от самосвалов до седельных тягачей, автобусов и спецтехники.

По мнению Минэнерго России, стимулирование расширения использования газомоторного топлива приведет к 2030 г. к увеличению производства автомобилей, использующих газомоторное топливо, до 3,8 млн ед., числа газозаправочных станций до 8,4 тыс., позволит создать более 58,9 тыс. дополнительных рабочих мест, а также сократить выбросы загрязняющих веществ.

Источник фото: ООО «РариТЭК», <http://kianews.com.ua>



Участники автопробега в Ростовской области



Газомоторная техника в Крыму

Перспективные направления кооперации и сотрудничества с корейскими производителями оборудования

70

24 июня в Москве прошла Международная конференция «Российско-Корейское сотрудничество и стратегическое партнерство в области защиты и охраны окружающей среды», организованная Корейским институтом технологий по охране окружающей среды (KEITI) и торговым отделом при посольстве Республики Корея (KOTRA). Партнерами мероприятия выступили министерство иностранных дел Республики Корея и министерство природных ресурсов и экологии этой страны.

Огромный интерес, проявленный профессиональным сообществом к тематике охраны окружающей среды и снижения вредного воздействия автомобильного транспорта и очистных сооружений для сточных вод, послужил стимулом для организации отдельного мероприятия, посвященного обмену опытом между специалистами в области охраны окружающей среды, производственными и эксплуатирующими организациями, а также участниками бизнес-сообщества.

экологической политики. Ключевыми факторами достижения успеха являлись: формирование нормативного поля; создание экономических стимулов для производителей и населения к сокращению выбросов; проведение научно-исследовательских работ и организация собственных научно-производственных объединений; пропаганда сохранения окружающей среды среди населения.

С российской стороны его поддержала представитель министерства природных ресурсов и экологии РФ Лидия Сорокина. Основным источником загрязнения в нашей стране, по ее словам, является автомобильный транспорт (92 % загрязнения атмосферы в городах и до 50 % – по стране в целом). Министерство энергетики совместно с министерством природных ресурсов и экологии РФ предпринимают шаги по изменению сложившейся ситуации. В частности, разработан план поддержки расширения использования альтернативных видов топлива на транспорте, содержащий меры по увеличению производства и использования транспортных средств на таких топливах, развитию средств их заправки.

Представитель компании НИЛОГАЗ С.Малашенко проинформировал участников конференции о разработке новых видов транспортных средств и путях развития потребления КПП в Белоруссии. Началу движения в данном направлении способствовало соглашение между ОАО «Газпром» и руководством республики, подписанное в мае 2013 г. и гарантирующее стоимость КПП на АГНКС в пределах 50 % цены дизельного топлива. В результате на заводах начато производство автобусов средней (до 30 пассажиров) и большой (до 90) вместимости. В конструкторских бюро при заводе БЕЛАЗ ведутся опытные разработки



Выступает Ким Ду Хван

С приветственным словом к участникам выступил исполнительный директор Корейского института промышленности и охраны окружающей среды Ким Ду Хван. Он отметил, что Корея в 60-80-х гг. прошлого века не уделяла внимания экологическим аспектам, а концентрировалась на экономическом росте, что привело к сбросам сточных вод и промышленных отходов в реки, загрязнению воздуха выбросами промышленных предприятий и захоронению отходов на стихийных полигонах и свалках. С начала 80-х гг. ситуация резко изменилась. Созданное министерство по охране окружающей среды основное внимание направило на разработку и реализацию

карьерной и специализированной техники на КПП и СПГ. В планах производственных объединений Белоруссии приоритетным направлением является локализация производства всех компонентов газобаллонного оборудования на территории республики. В настоящее же время баллоны, редукторы, газовые двигатели, газобаллонную аппаратуру закупают в США, Италии, Германии, Китае и РФ.

Продолжил тему развития газомоторных транспортных средств директор департамента транспорта и экологии министерства природных ресурсов и экологии Республики Корея Кук Хён Су, рассказав о мерах государственной поддержки и стимулирования, применяемых в стране. Ключевыми из них являются: беспроцентные кредиты на срок от 5 до 10 лет в размере до 625 тыс. долл. США на приобретение оборудования и строительство АГНКС; субсидии на приобретение транспортных средств в размере от 14 тыс. долл. на средний автобус и до 37 тыс. долл. на коммунальную технику; освобождение владельцев АГНКС от налога на имущество, а владельцев газобаллонных транспортных средств от уплаты транспортного и экологического налогов. В качестве перспективных направлений развития транспортных средств на альтернативном топливе в Корею рассматривают газотрибрид, работающий на электроэнергии и природном газе, и использование природного газа с добавками водорода.

Последовавшие за этим выступления представителей заводов и научно-производственных фирм позволили участникам мероприятия получить из первых рук подробную информацию по многим вопросам: переводу транспортных средств на природный газ; объему необходимых конструктивных изменений; особенностям тонкой настройки ДВС на определенный состав и вид топлива; принципам работы электронных блоков управления подачи КПП, управлению газобаллонной

аппаратурой и турбонаддувом; технологиям сверловки отверстий в блоках цилиндров транспортных средств для установки газовых свечей; габаритным размерам поршней и способам контроля их работы.



Участники конференции

Наряду с фирмами по переоборудованию транспортных средств были представлены заводы по производству компрессорного оборудования и оснащения для АГНКС. Наиболее перспективным направлением в части развития компрессоров малой и средней производительности корейские специалисты считают применение компрессоров горизонтальной компоновки без смазки поршня. За счет этого предлагается избежать попадания компрессорного масла в топливную систему автомобиля. Платить за это приходится потерей мощности за счет снижения частоты движения поршня и необходимостью заменять уплотнительные вкладыши и кольца. При этом прогнозируется ряд преимуществ, например, сокращение затрат на компрессорное масло в два раза, снижение потребности в фильтрах и уменьшение эксплуатационных расходов.

По завершению конференции состоялись деловые встречи представителей различных фирм, в процессе которых обсуждались направления и условия взаимовыгодного сотрудничества. Следует отметить, что на конференции присутствовали представители группы компаний ОАО «Газпром». Почетным участником была ведущий ученый головного научного института ООО «Газпром ВНИИГАЗ», доктор технических наук Гретта Аكوпова.

Газомоторные перспективы Удмуртии

Развитие рынка газомоторного топлива является одной из приоритетных задач, стоящих перед Удмуртией. Республика вошла в число 20 регионов, где реализуются пилотные проекты по созданию газозаправочной инфраструктуры и переводу общественного и коммунального транспорта на сжатый природный газ. Вопросы, связанные с использованием этого экономичного, экологичного и безопасного вида топлива стали темой специализированных мероприятий, прошедших в Ижевске 25 июня 2014 г.

В число мероприятий, приуроченных к совещанию рабочей группы об использовании природного газа в качестве моторного топлива при Правительственной комиссии по вопросам развития ТЭК Министерства энергетики РФ и конференции «Перспективы использования газомоторного топлива в Российской Федерации и Удмуртской Республике», вошла выставка газомоторного транспорта на Центральной площади города Ижевска и торжественный пуск в эксплуатацию партии автобусов ОАО «Удмуртавтотранс», работающих на КПП. Их организаторами выступили правительство Удмуртской Республики, компания «Удмуртавтотранс» и Выставочный центр «УДМУРТИЯ».



Совещание рабочей группы по вопросам использования природного газа в качестве моторного топлива

Предложение есть – спрос будет

Перед началом совещания и конференции участники ознакомились с образцами техники отечественных и иностранных производителей.

«Группа ГАЗ» впервые продемонстрировала новые разработки своего подразделения «Русские автобусы»: автобусы малого класса ПА3-3205311 CNG и ПА3-32030211 CNG на шасси Isuzu. Серийное производство этих

моделей планируется начать в конце 2014 г. Вместе с перспективными образцами была представлена серийная техника – это автобус большого класса ЛиАЗ, который проходит опытную эксплуатацию на маршрутах Ижевска, и коммерческий автомобиль «ГАЗель Бизнес CNG».

Компания «РариТЭК» представила несколько газомоторных моделей: городской автобус малого класса Bravis, городской автобус НЕФА3-5299-30-51 с газовым двигателем Daimler, мусоровоз с задней загрузкой CMZL-16G на базе газового шасси КАМА3-536051. А настоящим шоу-стоппером экспозиции стал спортивный КАМА3-4911 с газовым двигателем мощностью 220 кВт.

Интерес у посетителей выставки вызвали легковые автомобили Lada Granta и Lada Largus, переоборудованные в битопливные тольяттинской компанией «Альтернативные топливные системы». В настоящее время автомобили используются одной из служб такси г. Тольятти.

Первые ласточки Удмуртии

Главными героями экспозиции стали автобусы среднего класса «Ютонг». Эти машины приобретены Удмуртавтотрансом в рамках пилотного инвестиционного проекта, который осуществляется при софинансировании из федерального и регионального бюджетов. Прямо с выставочной площадки первая партия газовых автобусов отправилась на маршруты г. Воткинска.

Заправку автобусов и строительство объектов газомоторной инфраструктуры в регионе планирует обеспечить ООО «Газпром газомоторное топливо». К концу 2014 г. в Можге и Воткинске появятся две площадки, оборудованные модулями КПП. Кроме того, заправка автобусов будет обеспечиваться с помощью ПАГЗ. В настоящее время прорабатывается вопрос оборудования традиционных АЗС на основных автомобильных дорогах республики модулями КПП. Их установка будет способствовать созданию беспрепятственного транзита газомоторного транспорта между Набережными Челнами, Кировом, Пермью и Ижевском. А в будущем в городах республики будут работать семь АГНКС и две передвижные станции. Сумма инвестиций составит порядка 1 млрд руб. Создание разветвленной газозаправочной сети позволит обеспечить заправку транспорта природным газом в необходимом объеме.

– Считаю, что у этого проекта очень хорошие перспективы, – отметил временно исполняющий обязанности главы Удмуртии

Александр Соловьев. – Кроме получения экономического эффекта, то есть снижения себестоимости пассажирских перевозок и рационального использования природных ресурсов, мы улучшаем и экологическую обстановку в наших населенных пунктах. К 2017 г. мы переведем более 40 % общественного транспорта на газомоторное топливо, а в дальнейшем будем развивать это направление в ЖКХ и сельском хозяйстве.

– Наличие таких крупных потребителей, как предприятия общественного транспорта, гарантируют, что созданная инфраструктура будет использоваться с достаточной экономической эффективностью, – заявил и.о. министра промышленности и энергетики УР Олег Радионов.

Инвестиционным проектом, реализуемым Удмуртавтотрансом, предусмотрено приобретение в 2014 г. 35 автобусов, оснастки для их обслуживания, оборудования для крытой стоянки газобаллонных автомобилей и поста диагностики газобаллонного оборудования. Еще 20 автобусов поступят в распоряжение ижевского транспортного предприятия ИПОПАТ. На эти цели будет направлено 92,4 млн руб. из федерального бюджета, 7,24 млн из бюджета республики и еще 135,6 млн внебюджетных средств.

– С учетом новых автобусов в Воткинске уже переведено на газ до 50 % парка, – отметил Альберт Ахметшин, генеральный директор ОАО «Удмуртавторанс», председатель совета директоров ОАО «ИПОПАТ», член совета партнерства НП «Национальная газомоторная ассоциация». – В августе–сентябре газовые автобусы большого класса выйдут на дороги Ижевска. Основная цель, которую мы преследуем, – это развитие в республике экономичного, экологичного и безопасного общественного транспорта. Только в Воткинске мы сократим наши выбросы сажи в 10 раз и достигнем трехкратной экономии на топливе. Реализация инвестпроекта не приведет к росту стоимости проезда.

Тактика процесса

После торжественной части участники мероприятий переместились в здание правительства УР, где под председательством заместителя директора департамента переработки нефти и газа Минэнерго России Максима Лобанова состоялось заседание рабочей группы при Правительственной комиссии по вопросам развития ТЭК. Участники совещания обсудили основные трудности, которые имеются при переводе транспорта на газомоторное топливо: развитие сети газозаправочной инфраструктуры; необходимые изменения в законодательстве, которые бы

позволили упростить процедуру выделения земельных участков под строительство газозаправочных станций; необходимость либерализации требований по безопасности этих объектов и создания мер, стимулирующих приобретение техники населением, государственными и коммерческими структурами.

Одновременно с совещанием прошла конференция, в которой приняли участие производители газобаллонных автомобилей и оборудования из России, Чехии и Китая, представители организаций, занимающихся строительством и обслуживанием АГНКС, компаний, имеющих опыт эксплуатации автомобилей на КПП. В частности, представители «Группы ГАЗ» и ООО «РариТЭК» представили полный ряд выпускаемой газомоторной техники для различных отраслей.

ЗАО «БАРРЕНС» ознакомило участников с особенностями строительства и обслуживания АГНКС. Представители ООО «Газпром газомоторное топливо» дали полное представление о параметрах инвестпроекта по развитию рынка газомоторного топлива в республике.

К российскому рынку газомоторного топлива, одному из самых перспективных в мире, проявляют интерес и иностранные производители. Компания Vitkovic Machinery Group из Чехии представила комплексный подход к технологиям КПП, признанный участниками конференции одним из наиболее интересных среди существующих на сегодняшний день предложений.

В том, что касается приобретения транспорта на метане, важную роль играют удобные и гибкие финансовые инструменты. ЗАО «Сбербанк Лизинг» представило на конференции свои предложения.

В финальной части мероприятия ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» и ООО «Газпром трансгаз Чайковский» поделились своим опытом эксплуатации автопарка на КПП.

Успех реализации программы перевода техники на метан зависит от выбранного подхода – экономический эффект достигим только в том случае, когда проект направлен на привлечение широкого круга потенциальных потребителей. Это полностью соответствует стратегическим целям и задачам, поставленным при разработке программы развития рынка газомоторного топлива в Удмуртской Республике.

Справочная информация об Удмуртской Республике на сайте www.udmurt.ru



Автобусы Удмуртавтотранса, готовые к рейсу

Годовое собрание членов ЕДК

29 мая 2014 г. в Афинах прошло 17-е годовое собрание членов Европейского делового конгресса (European Business Congress – EBC). После обсуждения традиционных для годового собрания вопросов делегаты приняли участие в конференции на тему «Газомоторное топливо для окружающей среды Европы» (Gas Motor Fuel For European Environment).

Приветствуя участников Конференции, министр окружающей среды, энергетики и изменения климата Греции Яннис Маниатис подчеркнул, что для его страны наиболее интересными альтернативами дизельному топливу и бензину представляются КПП и СПГ.

Греческий рынок природного газа для транспорта только зарождается. Сейчас в стране работают четыре АГНКС (три в Афинах и одна в Салониках). До конца 2014 г. должны быть построены еще девять станций. В Греции на метане работают 600 автобусов и 100 мусоровозов. По словам Я. Маниатиса, перевод муниципальной техники на природный газ позволил сократить затраты на топливо на 30 %. Греция рассматривает Газпром как надежного партнера и готова развивать сотрудничество в области использования природного газа в качестве моторного топлива.

С основным докладом на конференции выступил председатель правления ОАО «Газпром», президент ЕДК Алексей Миллер. Суть его выступления в части газомоторного топлива заключалась в следующем. Европа продолжает рассуждать о топливной безопасности, однако при этом зависимость транспорта ЕС от нефти составляет 95 %. Природный газ для транспорта, несмотря на очевидные экологические и экономические преимущества, занимает на рынке неадекватно узкую нишу. Нефтепродукты дорожали, а природному газу уделялось недостаточно внимания, мало что делалось на практике.

Директива Евросоюза по развитию инфраструктуры заправки транспорта альтернативными видами топлива меняет ситуацию к лучшему, и Газпром готов работать над реализацией планов газификации транспорта совместно с зарубежными партнерами, в том числе и в Евросоюзе. Естественными союзниками газовиков в этом деле являются автопроизводители.

В заключение председатель правления ОАО «Газпром» подчеркнул, что расширение использования природного газа в качестве моторного топлива стало одним из приоритетных видов деятельности Общества.

Выступление Алексея Миллера предварила демонстрация 35-минутного фильма Антона Войцеховского об использовании природного газа на транспорте. Российские и зарубежные участники конференции проявили большой интерес к фильму и отметили, что он сделан на высоком профессиональном уровне.

Тему газомоторного топлива продолжил Кристофер Дельбрук, председатель правления компании E.ON Global Commodities SE (Германия). Он подчеркнул необходимость регулярно напоминать политикам о том, что поставки газа (в том числе на рынок моторного топлива) не представляют каких-либо проблем. Проблемы заключаются в общем падении спроса на природный газ и снижении прогнозов роста будущего спроса. Так, в электроэнергетике спад потребления газа с 2008 г. составил 20 %, в промышленности – 8 %. В коммунально-бытовом секторе спрос на природный газ за этот же период остался прежним. Однако, за тот же период с 2008 по 2013 г. потребление КПП в Германии выросло на 214 %.

Есть и другие проблемы, которые вызывают озабоченность, хотя и не



Президиум конференции

всегда оправданную логикой, у европейского потребителя. В числе этих проблем следующие: усиление темпов роста цен на газ в сравнении с электроэнергией; опасение владельцев газовых машин относительно того, останутся ли АГНКС там, где они есть сегодня; отсутствие прибыли от эксплуатации АГНКС; нарастание конкуренции со стороны биогаза и электричества.

Вице-президент по международным делам голландской компании Nederlandse Gasunie Вим Гронендик обратил внимание аудитории на то, что автомобильный транспорт стал главным источником загрязнения воздуха в Европе (рис. 1). Природный газ является наиболее приемлемой альтернативой традиционным видам моторного топлива. Например, электричество для тяжелого транспорта едва ли перспективно. А вот сжиженный природный газ – оптимальный выбор. Особенно для бункеровки судов. В интернете можно найти интерактивную карту существующих и перспективных объектов европейской инфраструктуры СПГ – LNG Europe Gas Infrastructure Europe.

Генеральный директор компании Gazprom Germania Вячеслав Крупенков рассказал о переходе к этапу массированного выхода на рынок. При этом он считает необходимым трансформировать локальное развитие в глобальный план.

Gazprom Germania, работающая в настоящее время на GMT-рынках Германии, Чехии и Польши, закончила 2013 г. с 30 АГНКС и 1 мобильным крио-заправщиком. К концу 2014 г. компания планирует довести число своих объектов КПП/СПГ до 47. Реализация природного газа в прошлом году составила 3,7 млн м³. Цель 2014 года – 10,3 млн м³.

Продолжая тему водительских предпочтений, начатую В. Гронендиком, Вячеслав Крупенков рассказал, что некоторые владельцы электромобилей Tesla просят установить дополнительные колонки и программу для воспроизведения в салоне звука... режущего двигателя. Без этого в экологически тихой машине они чувствуют себя некомфортно.

Завершил конференцию Маттиас Мэдж – директор Европейской газомоторной ассоциации по взаимодействию с ЕС. Он напомнил, что члены ЕС ежедневно тратят на импорт нефти 1 млрд евро. В 2014-2020 гг. Евросоюз предполагает направить на создание новых автомобилей, использующих экологические виды топлива, и разработку концепции альтернативных топливных решений для городов 70 млрд евро. Между тем «единственно реальной альтернативой нефти является природный газ», подчеркнул М.Мэдж.

К 2020 г. мировой парк газовых машин может вырасти до 65 млн ед., а суммарный спрос на КПП и СПГ в Европе – до 40 млрд м³/год.

В Европе начинается развитие транспорта на СПГ. По данным Европейской газомоторной ассоциации, сейчас в Старом Свете на этом виде топлива работают 1054 автомобилей различных классов (рис. 2) и построено 35 криогенных заправок. Для стимулирования этого сектора газомоторного рынка Европейская газомоторная ассоциация совместно с Европейским Союзом разработала программу «Голубые коридоры на СПГ». Проект, в котором участвуют 27 компаний из 11 стран, имеет следующие целевые показатели: за четыре года произвести 100 грузовых автомобилей на СПГ и 14 КриоАЗС; общий объем финансирования довести до 14,33 млн евро, включая 7,96 млн из бюджета ЕС.

Следующее Общее собрание ЕДК пройдет в мае 2015 г. в Белграде.

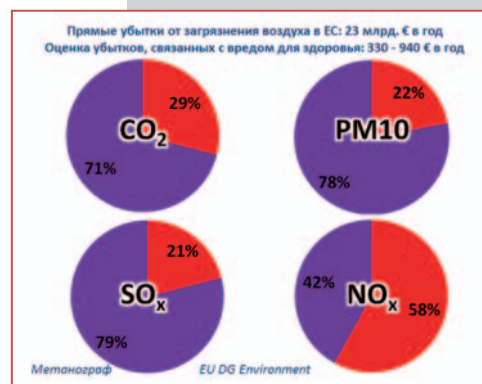


Рис. 1. Доля транспорта в выбросах в странах ЕС: красный сектор – доля транспорта в общем объеме выбросов по конкретным показателям

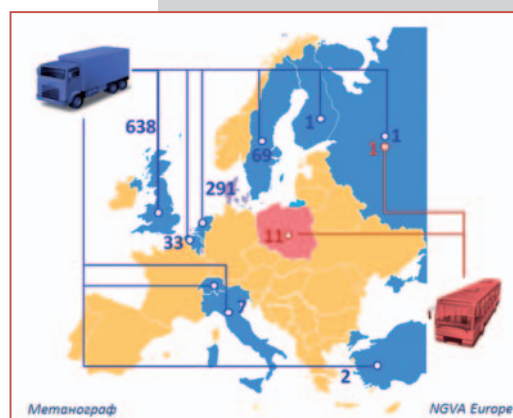


Рис. 2. Европейский парк автомобилей на СПГ: синий цвет – грузовой транспорт; красный – пассажирский

Мировой рынок КПП в качестве моторного топлива по состоянию на июнь 2014 года

Страна	Парк ГБА, всего	Станции	Спрос на ПГ, млн м ³ /год	Парк ГБА на 1 станцию	Реализация ПГ, тыс. м ³ /год на 1 станцию	Потребление ПГ, м ³ /год на 1 ГБА	Бензин Premium, евро/л	Диз. топливо, евро/л	КПП, евро/м ³
Иран	3 500 000	2 186	5 760,00	1 601	2 635	1 646	0,25	0,13	0,02
Пакистан	2 790 000	2 997	2 949,00	931	984	1 057	1,01	0,83	0,39
Аргентина	2 389 570	1 932	2 392,56	1 237	1 238	1 001	0,58	0,73	0,19
Таиланд	448 025	492	2 210,40	911	4 493	4 934		0,68	0,18
Индия	1 800 000	903	1 958,52	1 993	2 169	1 088	0,91	0,65	0,54
Бразилия	1 773 403	1 805	1 734,36	982	961	978	1,27		0,75
Испания	3 781	78	1 128,77	48	14 471	298 537	1,44	1,36	0,77
Южная Корея	40 222	191	1 116,00	211	5 843	27 746		1,20	0,77
Бангладеш	220 000	585	1 098,60	376	1 878	4 994	0,52	0,34	0,18
США	142 000	1 466	930,24	97	635	6 551		0,75	0,28
Италия	823 000	1 022	900,00	805	881	1 094	1,75	1,63	0,72
Украина	170 000	325	624,00	523	1 920	3 671	1,09	0,94	0,65
Египет	198 852	172	562,20	1 156	3 269	2 827	0,62	0,12	0,05
Колумбия	476 506	708	540,00	673	763	1 133			
Россия	90 000	252	405,00	357	1 607	4 500	0,75	0,73	0,25
Армения	226 800	345	318,24	657	922	1 403	0,96	0,83	0,38
Боливия	273 342	178	315,34	1 536	1 772	1 154			
Германия	96 349	915	276,00	105	302	2 865	1,57	0,79	0,77
Перу	174 926	231	222,72	757	964	1 273			
Норвегия	908	26	196,80	35	7 569	216 740		1,78	0,96
Болгария	61 623	106	180,00	581	1 698	2 921	1,27	1,32	0,67
Малайзия	55 999	184	177,60	304	965	3 171		0,42	0,16
Австрия	7 717	205	162,00	38	790	20 993	1,45	1,40	0,74
Швеция	44 322	203	140,40	218	692	3 168	1,72	1,62	1,64
Венесуэла	90 000	166	97,80	542	589	1 087			
Франция	13 538	344	72,00	39	209	5 318	1,70	0,92	0,92
Турция	3 850	14	50,40	275	3 600	13 091			
Таджикистан	10 600	53	49,56	200	935	4 675			
Чили	8 164	15	38,40	544	2 560	4 704			
Великобритания	559	22	36,00	25	1 636	64 401	1,27	1,29	0,92
Чехия	7 050	80	24,00	88	300	3 404	1,44	1,32	0,69
Тринидад и Тобаго	3 500	6	21,60	583	3 600	6 171			
Швейцария	11 058	167	19,32	66	116	1 747	1,43	1,53	1,13
Мексика	2 620	8	16,44	328	2 055	6 275			
Греция	708	4	15,96	177	3 990	22 542	1,19	1,04	0,65
Португалия	586	5	13,92	117	2 784	23 754	1,35	1,11	0,45
Белоруссия	4 600	42	12,36	110	294	2 687	0,66	0,59	0,19
Сингапур	4 638	3	12,36	1 546	4 120	2 665	0,94	0,67	0,70
Словакия	1 284	14	12,00	92	857	9 346	1,40	1,49	0,88
Польша	3 392	47	9,12	72	194	2 689	1,34	1,34	0,72
Киргизия	6 000	6	7,20	1 000	1 200	1 200			

Финляндия	1 302	19	4,99	69	263	3 834	1,67	1,06	1,34
Молдавия	2 200	24	4,80	92	200	2 182	1,05	1,00	0,45
Сербия	838	9	3,72	93	413	4 439	1,24	1,18	0,58
Мозамбик	661	2	2,88	331	1 440	4 357			
Венгрия	4 062	18	2,64	226	147	650	1,37	1,38	0,84
Литва	200	4	2,40	50	600	12 000	1,32	1,24	0,88
Исландия	916	2	2,02	458	1 008	2 201	1,60	1,55	0,91
Лихтенштейн	143	2	1,20	72	600	8 392	1,20	1,19	0,92
Доминикана	10 909	15	1,10	727	74	101	0,77	0,60	0,33
Словения	48	6	0,98	8	164	20 500	1,52	1,40	0,79
Хорватия	155	2	0,96	78	480	6 194	1,31	1,16	0,58
Македония	54	1	0,25	54	252	4 667	1,24	1,04	0,42
Эстония	194	4	0,24	49	60	1 237	1,34	1,33	0,57
Латвия	18	1	0,03	18	31	1 713	1,32	1,28	0,38
Австралия	3 110	52		60			1,17	1,07	0,70
Алжир	125	3		42					
Афганистан	1 701	2		851			0,73		0,50
Бельгия	499	16		31			1,69	1,41	0,77
Босния и Герцеговина	21	2		11					
Вьетнам	462	7		66			1,25	0,92	0,89
Грузия	80 600	100		806			0,97	0,93	0,47
Дания	15	2		8			1,44	1,34	1,34
Индонезия	5 690	11		517			0,44	0,33	0,18
Ирландия	1	2		1					
Казахстан	20	1		20					
Канада	14 205	89		160			0,94	0,86	0,59
Катар	76	1		76					
Китай	3 000 000	5 730		524			0,77	0,68	0,43
Люксембург	261	7		37			1,40	1,20	0,84
Мьянма	28 479	51		558					
Нигерия	3 798	8		475				0,68	0,24
Нидерланды	6 680	194		34			1,73	1,42	0,75
Новая Зеландия	201	14		14					
ОАЭ	2 801	19		147					
Панама	15								
Румыния	2	2		1					
Танзания	55	1		55					0,48
Тунис	34	1		34					
Туркмения		1							
Узбекистан	450 000	213		2 113			0,80	0,68	0,23
Филиппины	20	1		20			0,76	0,60	0,26
Черногория		1							
Эквадор	40	1		40					
Южная Африка	158	2		79			1,40	1,08	0,52
Япония	42 590	314		136			1,60	1,30	1,05

ПоданнымжурналаGVRиMetan4U



Abstracts of articles

P. 5

Mathematical Model for Thermal Processes in the Automobile Cylinders with Methane

Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy

A mathematical model of thermal processes is developed when filling, emptying, testing, storage and transport of standard cylinders with methane: Metal; Metal liner reinforced with resin impregnated continuous filament (hoop wrapped); Metal liner reinforced with resin impregnated continuous filament (fully wrapped). By comparative analysis of the known gas laws, equations of state of metan is selected, which is the most closely correlated with the experimental data and corrected dependence of the compressibility factor of metan on its density and temperature is obtained. For the three design schemes thermal model appropriate to consider constructive cylinder types, system of differential equations describing the time variation of the temperature of methane and characteristic structural elements of the container is composed.

Keywords: constructive cylinder types, cylinder thermal model, metan law, the compressibility factor of metan.

P. 14

The effects of weather conditions on buses' consumption of CNG

Michael Pochukaev, Uriy Panov, Valeriy Zenchenko, Victor Molchaninov

The article describes the qualitative analysis of the various factors influence on the CNG buses' consumption. The results of the effect of weather on gas consumption experiment when operating buses on city routes are described. The results are presented in graphs and equations of consumption.

Keywords: natural gas consumption, natural gas, buses, test route, CNG, weather conditions.

P. 21

Improving the environmental performance of diesel 4x11.0/12.5 by using natural gas and recycling

Vitaliy Likhonov, Oleg Lopatin

In Vyatka State Agricultural Academy on the basis of the research laboratory of the Department of heat engines, cars and tractors the tractor diesel D-240 (4x11.0/12.5) research were conducted to improve environmental performance using natural gas and exhaust gas recirculation (EG). Based on the laboratory bench research of the tractor diesel 4x11.0/12.5 workflow with natural gas recirculation, the possibility to improve its environmental performance, in particular, reduction of nitrogen oxides in the exhaust gas (EG), diesel economy, increase effective indicators had been determined.

Keywords: oil engine, diesel oil, natural gas, exhaust gas recirculation, exhaust gas (EG), toxic level, nitrogen oxides.

P. 26

Thermo-hydraulic optimization of the aero-derivative cryogenic fuel supply system running on supercooled propane

Vladimir Raznoschikov, Victor Zagumennov, Ilyana Demskay

The article describes the calculation sequence of the cryogenic aircraft fuel systems' optimum parameters. An example of calculating the parameters of the prospective aircraft Tupolev Tu-204K' fuel system using supercooled propane is given.

Keywords: cryogenic fuel system, prospective aircraft, Tupolev Tu-204K.

P. 38

Utilization peculiarities of the excess-air coefficients "by air" and "by fuel-air mixture" for the evaluation of the gas exchange results in gas-engines

Leonid Matyukhin

The article examines the rating ways of the coefficient of admission and indicated mean pressure of explosion engine when using different fuel gases.

Keywords: piston internal combustion engine, interchange of gases, breathing, fuel mode, volumetric ratios of components in the air-fuel-residual gases-mixture.

P. 47

Thermoacoustic Coolers on Solar Energy for Orbital Complexes

Vladimir Karagusov, Ivan Karagusov

Thermoacoustic coolers are the advanced cooling systems for spacecraft, as in refrigerating and cryogenic temperature levels. There are no mechanical moving parts and nodes in them, which define long service life, high reliability and absence of vibrations. Thermal energy can be used in those types of coolers instead of electricity, also they do not require redundancy and maintenance. Heat and cold accumulators may be used ensure the work of thermoacoustic coolers on the shaded areas of an orbit.

Keywords: thermoacoustic cooler, space vehicles, orbital stations, solar concentrators, heat and cold accumulators.

P. 52

New generation remote laser gas-analyzer arranged on unmanned aerial vehicle

Valeriy Tabarin, Alexander Shestakov, Uriy Chjan, Alexander Ermakov, Arnold Palant

Article is devoted to the gas-analyzer (GA), which has a number of new approaches, including the ability to be arranged on an unmanned aerial vehicle (UAV). The promising pulsed laser scanning device, which is not yielding to the characteristics of the existing analyzers for manned helicopters, designed for hanging on the UAV, is described.

Keywords: gas-analyzer, unmanned aerial vehicle, cross-country pipelines, optical switch, infrared image converter.

Авторы статей в журнале № 4 (40) 2014 г.

Белоусова Светлана Юрьевна, ведущий инженер
ЗАО НПП «Маштест»,
тел. (495) 513-46-92, e-mail: svtnbelousova@gmail.ru

Демская Ильяна Анатольевна,
инженер ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
(495)-362-90-82, e-mail: demskaya@ciam.ru

Ермаков Александр Арнольдович,
менеджер ООО «Оптоэлектронные системы»,
м.т. 909 028-19-77, e-mail: alex.arnoldovich@gmail.com

Загумёнов Виктор Викторович, старший инженер-
испытатель научно-испытательного управления ГЛИЦ
им. В.П.Чкалова, м.т. 8 (926)-101-81-67,
e-mail: vv_zagumennov@mail.ru

Зарубин Владимир Степанович, д.т.н., Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана, профессор кафедры «Прикладная
математика», м.т. (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

Зенченко Валерий Александрович, профессор МАДИ,
к.т.н., 8-925-301-41-65

Карагусов Владимир Иванович, д.т.н., профессор
Омского государственного технического университета,
e-mail: karvi@mail.ru, тел. 8 913 971-37-15

Карагусов Иван Владимирович, аспирант Омского
государственного технического университета,
e-mail: mrcounter@mail.ru, тел. 8 983 622-44-61

Лиханов Виталий Анатольевич, д.т.н., академик РАТ,
профессор, заведующий кафедрой ДВС ФГОУ ВПО
«Вятская государственная сельскохозяйственная акаде-
мия», 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
р.т. 8 (8332) 57-43-07

Лопатин Олег Петрович, к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО
«Вятская государственная сельскохозяйственная акаде-
мия», служебный адрес: 610017, г. Киров, Октябрьский
проспект, 133, кафедра ДВС, р.т. 8 (8332) 37-57-28,
e-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Матюхин Леонид Михайлович, к.т.н., профессор
кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели»
МАДИ, р.т.: (499) 155-04-61, м.т. 916 674-09-67,
e-mail: panam1@mail.ru или lmmatyukhin@gmail.com

Молчанинов Виктор Иванович, начальник
технического отдела 11-го автобусного парка
ГУП «Мосгортранс», 8 915 376-76-41

Осадчий Яков Григорьевич, д.т.н., генеральный
директор ЗАО МАШТЕСТ,
р.т. (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Палант Арнольд Исакович, директор
ООО «Оптоэлектронные системы»,
тел. (343) 3747609, e-mail: arn.palant@yandex.ru

Панов Юрий Владимирович, профессор МАДИ,
к.т.н., м.т. 8 916-149-60-11,
e-mail: panovyur@mail.ru

Почукаев Михаил Ильич, аспирант МАДИ,
р.т. (499) 155-03-19, м.т. 910-650-59-18

Разносчиков Владимир Валентинович, старший
научный сотрудник ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
доцент, к.т.н., (495) 362-90-82,
e-mail: raznoschikov@ciam.ru

Табарин Валерий Александрович, д.ф.-м.н.,
профессор кафедры радиопизики ФГОУ ВПО Тюмен-
ский государственный университет,
м.т. 932 410-83-50, e-mail: vtabarin@utmn.ru

Чжан Юрий Васильевич, главный конструктор
ООО «Оптоэлектронные системы»,
м.т. 922 201-63-55, e-mail: ytchan@microtest.ru

Шестаков Александр Валентинович, к.ф.-м.н.,
начальник отдела лазерной техники НИИ ПОЛЮС
им. Стельмаха, 117342, г. Москва, ул. Введенского,
д. 3, корп. 1, м.т. 916 675-16-27

Contributors to journal issue № 4 (40) 2014

Belousova Svetlana, senior engineer, JSC Scientific
and Production Enterprise «Mashtest»,
phone: + 7 (495) 513-46-92, e-mail: svtnbelousova@gmail.ru

Chjan Uriy, Chief Designer, LLC «Optoelectronic Systems»,
phone: + 7 922 201-63-55, e-mail: ytchan@microtest.ru

Demskaya Ilyana, Engineer, CIAM after P.I. Baranov,
phone: + 7 (495)-362-90-82, e-mail: demskaya@ciam.ru

Ermakov Alexander, manager,
LLC «Optoelectronic Systems»,
phone: + 7 909 028-19-77,
e-mail: alex.arnoldovich@gmail.com

Karagusov Ivan, master student of Omsk State
pedagogic University,
e-mail: mrcounter@mail.ru, phone: +7 983-622-4461

Karagusov Vladimir I., professor of Omsk State
Technical University, PhD, Engng,
e-mail: karvi@mail.ru, phone: +7 913 971-37-15

Likhanov Vitaly A., head of the chair of Vyatka
State Agricultural Academy, Dr. Sci. Tech.,
phone: +7 (8332) 57-43-07

Lopatin Oleg P., Ph.D., Associate Professor
of Vyatka State Agricultural Academy,
phone: + (8332) 37-57-28, e-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Matyukhin Leonid, cand. sc., professor MADI,
phone: + 7 (499) 155-04-61, +7 916 674-09-67,
e-mail: lmmatyukhin@gmail.com

Molchaninov Viktor, Head of Department 11-th
bus fleet «Mosgortrans», phone: + 7 915 376-76-41

Osadchy Yakov, PhD, Engng, general manager,
JSC Scientific and Production Enterprise «Mashtest»,
phone: + 7 (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Palant Arnold, director, LLC «Optoelectronic Systems»,
phone: + 7 (343) 3747609, e-mail: arn.palant@yandex.ru

Panov Yury, cand. sc., professor MADI,
phone: +7 916-149-60-11,
e-mail: panovyur@mail.ru

Potchukaev Michail I., Postgraduate MADI,
office phone: + 7 (499) 155-03-19, 910-650-59-18

Raznoschikov Vladimir V., PhD, Senior Research Scientist,
CIAM named after P.I. Baranov
e-mail: raznoschikov@mail.ru, phone: + 7 915 214-93-36

Shestakov Alexander, PhD, head
of laser technology research Stelmach Institute POLUS,
phone: +7 916 675-16-27

Tabarin Valeriy, doctor of physical and mathematical
sciences, professor of Tyumen State University,
phone: +7 932 410-83-50, e-mail: vtabarin@utmn.ru

Zagumennov Viktor, senior test engineer, State Flight Test
Center of the Ministry of Defence Chkalov,
phone: +7 (926)-101-81-67, e-mail: vv_zagumennov@mail.ru

Zarubin Vladimir, Doctor of Technical Sciences, professor
of the Bauman Moscow State Technical University,
phone: +7 (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

Zenchenko Valery, cand. sc., professor MADI,
mobile phone: + 7 925-301-41-65

Подписка – 2014

Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 142717, Московская обл., Ленинский р-н., п. Развилка, а/я 253
Тел.: +7 (498) 657 29 77, e-mail: transport.1@ngvrus.ru, transport.2@ngvrus.ru
www.ngvrus.ru

Уважаемые читатели!
Продолжается подписка на 2014 г.

Подписчики	Годовая, 6 номеров	II полугодие, 3 номера
Россия	4290 руб. (включая 10 % НДС)	2145 руб. (включая 10 % НДС)
Страны СНГ	4290 руб. (включая 10 % НДС)	2145 руб. (включая 10 % НДС)
Страны дальнего зарубежья	200 евро / 280 долл.	120 евро / 170 долл.

Отдельные экземпляры журнала (650 руб. + 10% НДС = 715 руб.) можно приобрести в редакции. Электронная версия журнала (формат PDF, 6 номеров):

- для РФ и стран СНГ – 2124 руб., включая НДС 18 %.
- для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Подписку на 2014 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс 72149), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса – Почта России, подписной индекс 12718).

Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210 × 290 мм)	22 тыс. + 18 % НДС	900	650
½ страницы (125 × 176 мм)	13 тыс. + 18 % НДС	550	400
¼ страницы (70 × 176 мм)	8 тыс. + 18 % НДС	300	220
Презентация (1 стр.)	10 тыс. + 18 % НДС	350	260
Специальный раздел (1 стр.)	2 тыс. + 18 % НДС	—	—
На обложке			
1-я страница (150 × 210 мм)	22 тыс. + 18 % НДС	900	650
2-я или 3-я страницы (290 × 210 мм)	27 тыс. + 18 % НДС	1100	800
4-я страница (290 × 210 мм)	30 тыс. + 18 % НДС	1200	900

Технические требования к рекламным модулям:

Макет должен быть представлен в электронном виде: форматы eps, tiff, jpeg, pdf.
Требуемые разрешения: полноцветные и монохромные материалы не менее 300 dpi.