

ЗК «АвтоГазоЗаправочный Комплекс+

+ Альтернативное топливо»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 6 (111) 2016 г.

Издается с января 2002 г.

Периодичность – ежемесячно

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

ΗΛΛΚΛ

HAZNA
Иванов Э.С.
Особенности моделирования режимов работы
газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций
магистральных трубопроводов
Рассмотрен вариант совершенствования расчета режимов работы газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистрального транспорта газа с использованием но- вых математических моделей. Разработанный подход может применяться для решения задач производственно-диспетчерского управления в процессе магистрального транспор- та газа и оперативного регулирования режимов работы газоперекачивающих агрегатов.
Зенченко В.А., Глотов А.Н.
Разработка режимов обслуживания газовых систем питания
автомобилей
В мировой и отечественной практике в последнее десятилетие наблюдается интен- сивный рост автотранспортных средств (АТС) использующих газовое топливо: газ сжиженный нефтяной (ГСН).
Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А.
Смесевые биотоплива с добавками рапсового и подсолнеч-

Рассмотрена возможность использования смесей нефтяного дизельного топлива с Рассмотрена возможность использования смесеи нефтяного ойзельного топлива с рапсовым и подсолнечным маспами в качестве топлива для дизелей. Проведен анализ физико-химических свойств исследуемых смесевых биотоплив. Представлены резуль-таты экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С, работающего на дизельном топливе и смесевых биотопливах. Предложена методика оптимизации состава смесе-вых биотоплив. Проведены оптимизационные расчеты.

ИНФОРМАЦИЯ

Сегодня, что ни разговор про экологию, так тут же звучит слово "водород". Топливо будущего, топливо будущего! Скоро вместо бензина будет водород и вместо солярки тоже, и вместо метана. Ведь это же сплошная "экология", никакого дыма, никакого углекислого газа и парникового эффекта. Футуристический проект, который почему-то никак не становится явыю. Почему? Попробуем разобраться.

Куприянов С.В.

Сердце газотранспортной системы

"Газпром" располагает крупнейшей в мире газотранспортной системой. Она представля-ет собой уникальный технологический комплекс, включающий в себя объекты транспорти-ровки и хранения, а также обеспечивает непрерывный цикп поставки газа от скважины до конечного потребителя. Общая протяженность газотранспортной системы на террито-рии России составляет 170,7 тыс. км. В транспортировке газа используются 250 компрес-сорных станций, на которых установлено 3825 газоперекачивающих агрегатов.

Савченко А.С.

Компания Scania пополнила ряд двигателей для выработки электроэнергии новым га-зовым двигателем V8, который обеспечивает более низкий уровень выбросов углеки-слого газа по сравнению с дизельными аналогами.

Вадим Сорокин: "Сжать зубы и не останавливаться" 52

Президент "Группы ГАЗ" Вадим Сорокин прогнозирует революцию "беспилотников" на мировом авторынке через 10 лет, рассказывает о том, что мешает производить кон-курентные автомобили из российских комплектующих, и предупреждает, что в 2016 г. рынку придется "сжать зубы и не останавливаться".

Техника "Урал" на строительстве газопровода "Газпром" и "Ростехнадзор" подписали соглашение 55 Поставка газовых тягачей Iveco компании SMET.....

"Газпромнефть - смазочные материалы" запустила масштаб-

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"

Главный редактор

В.Ф. Третьяков — академик РАИН,

д-р хим. наук, профессор

Зам. главного редактора

А.С. Савченко

Председатель редакционного совета

В.Ф. Корнюшко — д-р техн. наук,

Заслуженный деятель науки и техники РФ

Состав редакционного совета:

член-корр. АН РТ Г.С. Дьяконов

(Респ. Татарстан, г. Казань)

д.т.н. В.А. Марков

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

д.т.н. Н.Г. Кириллов

(ООО "ИИЦ Стирлинг-Технологии", г. Санкт-Петербург)

д.т.н. И.М. Коклин

(ООО "Газпром Трансгаз Ставрополь")

член-корр. НАН Ю.Н. Литвишков

(Азербайджан, г. Баку)

академик НАН И.И. Лиштван

(Беларусь, г. Минск)

академик РАЕН С.В. Мещеряков

(МИНГП, г. Москва)

д.э.н. А.В. Николаенко

(МГТУ МАМИ, г. Москва)

О.Н. Румянцева

(ООО "Издательство "Инновационное машиностроение")

д.х.н. Р.М. Талышинский (РАН ИНХС, г. Москва)

академик НАН РК, Е.М. Шайхутдинов

(Респ. Казахстан, г. Алматы)

Релактор

И.Л. Сильченкова

Компьютерная верстка С.А. Жиркина

Адрес и телефон редакции:

107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2 Тел. 8 (495) 661-38-80, 8 (499) 268-41-77

E-mail: info.agzk-at@mashin.ru

info.agzk.at@gmail.com

www.mashin.ru

Подписано в печать 26.05.2016 г.

Формат 60×88 1/8. Бумага мелованная.

Усл. печ. л. 6.86.

Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва,

Нагатинская наб. д. 54, пом. 4

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

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

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

© ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо", 2016

gaz6.16(1-56).ps agzk616(1-56) 25 2016 *. 13:50:45



3K «Autogas Filling Complex+

+ Alternative fuel»

AN INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL MAGAZINE

№ 6 (111) 2016 г.

Published from January, 2002

Periodicity — monthly

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

CONTENTS

SCIENCE

Iva	anc	v	F	S

Features Simulation modes of gas pumping units of compressor stations of the main gas pipelines

A variant of improving the calculation of operating modes gas compressor units of compressor stations of the main transport gas using the new mathematical models. The developed approach can used to solve production and dispatch management tasks in the process of gas trunkline and gas operational control modes pumping units.

Zenchenko V.A., Glotov A.N.

Working conditions of service of gas supply systems cars 20

The world and national practice in the last decade has seen intensive growthtion vehicles using gas fuel: liquefied petroleum gas.

Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A.

Biofuel Mixtures with Rapeseed Oil and Sunflower Oil Additives

An opportunity of using oil diesel fuel with rapeseed oil and sunflower oil mixtures as a fuel for diesel engines is considered. The analysis of chemical-physical characteristics of the tested biofuel mixtures is carried out. The results of experimental research of a D-245.12S diesel engine with the engine running on diesel fuel and biofuel mixtures are demonstrated. Method of optimization of oil biofuel mixtures composition are suggested. Optimization calculations are conducted.

INFORMATION

Zharov M.I.

Today, that no talk about ecology, so immediately sounds the word "hydrogen". Fuel of the future, the fuel of the future! Soon hydrogen instead of gasoline to be and instead of diesel too, and instead of methane. After all, this is a solid "ecology", no smoke, no carbon dioxide and the greenhouse effect. Futuristic design, which for some reason did not come true. Why? Try to understand.

Kupriyanov S.V.

"Gazprom" has the world's largest gas transmission system. It is a unique technological complex which includes transportation and storage facilities, and also provides a continuous cycle of gas supply from the wellhead to the consumer. The total length of the gas transport system in Russia is 170.7 thous. km. The transport of gas used 250 compressor stations, which found 3,825 gas pumping units

Savchenko A.S.

Technique "Ural"	in the construction of gas pipel	ine "Power
of Siberia"		

"Gazprom" and "Rostekhnadzor" signed an agreement	. 55
Supply of gas trucks Iveco company SMET	. 55
"Gazpromneft – Lubricants" launched a large-scale	
action	. 56

Founder

LLC "Publishers "Innovative mashinostroenie"

Editor-in-chief

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

Deputy editor

A.S. Savchenko

Chairman of the editorial board

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

The editorial board:

corresponding member of the AS RT G.S. D'yaconov

(Tatarstan Resp., Kazan)

doct. of techn. sc. V.A. Markov

(Bauman MSTU, Moscow)

doct. of techn. sc. N.G. Kirillov

(LLC "IPC Stirling-Technology", St. Petersburg)

doct. of techn. sc. I.M. Koklin

(LLC "Gazpom Transgaz Stavropol")

corresponding member of the ANAS Yu.N. Litvishkov

(Azerbaijan, Baku)

academician of the NAS I.I. Lishtvan

(Belarus, Minsk)

academician of the RANS S.V. Meshcheryakov (MINGP, Moscow)

doct. of econom. sc. A.V. Nikolaenko (MSUME, Moscow)

O.N. Rumyantseva

(LLC "Innovative mashinostroenie" Publishers)

doct. of chem. sc. **R.M. Talyshinsky** (TIPS RAS, Moscow) Academician of the NAS RK **E.M. Shaikhutdinov**

(Kazakhstan Resp., Almaty)

Editor

I.L. Silchenkova

Computer Design

S.A. Zhirkina

Address and phone edition:

107076, Moscow, Kolodezniy per., 2a, str. 2 Tel.: 8 (495) 661-38-80, 8 (499) 268-41-77

E mail: info agak at@mashin #1

E-mail: info.agzk-at@mashin.ru

info.agzk.at@gmail.com

www.mashin.ru

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

. . . 54

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

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

© LLC "Innovative mashinostroenie" Publishers, "Autogas filling complex + alternative fuel", 2016

gaz6.16(1-56).ps agzk616(1-56) 25 2016 *. 13:50:48 УЛК 622.691

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Э.С. Иванов, канд. техн. наук, ООО "Газпром Трансгаз Уфа", г. Уфа

Рассмотрен вариант совершенствования расчета режимов работы газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистрального транспорта газа с использованием новых математических моделей. Разработанный подход может применяться для решения задач производственно-диспетчерского управления в процессе магистрального транспорта газа и оперативного регулирования режимов работы газоперекачивающих агрегатов.

Ключевые слова: эксплуатация; оптимизация; газотурбинная установка; центробежный компрессор; газоперекачивающий агрегат; коэффициент технического состояния; ротор высокого давления; ротор низкого давления; турбина; мощность; обороты; моделирование; аппроксимация; функция; технологический параметр.

MODELING DETAILS OF THE PERFORMANCE MODES OF GAS TRANSMITTAL UNITS AT GAS TRANSMISSION COMPRESSOR STATIONS

Ivanov E.S., Ph. D. of technical sciences, "Gazprom Transgaz Ufa" LLC, Ufa

A variant of improving calculations of performance modes of gas transmittal units at gas transmission compressor stations is considered with the use of new mathematical models. The developed approach is applicable for resolving production and dispatcher man-agement problems in gas transmission, as well as in real-time control of performance modes of gas transmittal units.

Keywords: operation; optimization; gas turbine plant; centrifugal compressor; gas transmittal unit; technical condition; high-pressure rotor; low pressure rotor; turbine; power; revolutions; modeling approximation; function; technological parameter.

Введение

Эффективное управление промышленными объектами трубопроводного транспорта топливно-энергетического комплекса и предупреждение аварийных ситуаций являются актуальными задачами устойчивого развития газовой промышленности.

В настоящее время на предприятиях газовой промышленности обращают серьезное внимание на проблемы оптимального управления газотранспортной системой, а также вопросы достоверной оценки и прогноза режима транспорта газа в процессе оперативного регулирования с учетом фактического технического состояния оборудования [15].

В современное время можно выделить следующие основные функции производственно-диспет-

черской службы газотранспортного структурного подразделения (Общества):

- поддержание заданного технологического режима транспорта природного газа;
- контроль величин и изменений эксплуатационных параметров технологического оборудования компрессорных станций (далее КС) и газораспределительных станций (в том числе с использованием систем телемеханизации);
- контроль параметров, характеризующих качество газа (температура точки росы по воде и углеводородам, теплотворная способность и плотность газа);
- контроль изменения и величин эксплуатационных параметров линейной части (в том числе с использованием систем линейной телемеханизации);



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

- контроль положения кранов на всех технологических объектах газотранспортной системы;
- контроль выполнения плановых объемов поступления и распределения газа;
- контроль выполнения планово-предупредительных работ, текущего и капитального и аварийного ремонта на объектах газотранспортной системы;
- оперативное обнаружение аварийных (нештатных) ситуаций на газопроводах и их своевременная локализация;
- документирование текущей обстановки с подготовкой отчетной информации;
- передача оперативной и режимно-технологической информации на вышестоящий уровень управления.

Одной из главных задач диспетчера одноцеховой (многоцеховой) КС является контроль и анализ режимов работы газоперекачивающих агрегатов (далее — ГПА), установок охлаждения природного газа (аппаратов воздушного охлаждения газа), установок очистки газа от механических примесей (пылеуловителей, сепараторов, адсорберов), трубопроводной обвязки в составе КС, а также поддержанию такого режима функционирования, который обеспечит требуемые параметры транспорта газа при минимальных затратах газа на собственные технологические нужды (топливного газа) на компримирование.

В свою очередь, контроль за энергоэффективностью режимов работы ГПА сводится к анализу режимов работы привода и нагнетателя.

В фактических условиях транспорта газа, в силу режимно-технологических причин или ограниченного технического состояния оборудования, не всегда возможно добиться оптимальных показателей транспорта газа, тогда задача оптимизации сводится к определению условий рационального режима работы.

Постановка задачи

Как отмечено выше, одна из главных задач диспетчера (инженера, машиниста ГКС) филиала газотранспортного предприятия сводится к контролю и анализу показателей работы ГТУ и ЦБК в составе ГПА в процессе магистрального транспорта газа на основе показаний технологических параметров, которые непрерывно измеряются на работающем оборудовании и отображаются на стойках управления ГПА КС.

Управление и контроль режимов работы ГПА КС в процессе магистрального транспорта газа заключается: в определении фактических рабочих точек ГТУ и ЦБК, политропного коэффициента полезного действия (далее – КПД) ЦБК, эффективного КПД ГТУ, удаленности от зон помпажа (ГТУ и ЦБК), удаленности технологических параметров режимов работы ГПА (ГТУ и ЦБК) от значений предупредительных и аварийных уставок (по оборотам ЦБК и ГТУ, температуре за турбинами ГТУ, давлению воздуха за осевым компрессором ГТУ, вибрации опор и корпусов, давлению масла, осевому сдвигу и др.); поддержании заданных параметров транспорта газа на основе выбранных критериев регулирования (максимальное давление на выходе КС, максимальная или номинальная загрузка ГПА, поддержание постоянных оборотов ЦБК и т.д.) в допустимых пределах, контроль параметров режимов работы вспомогательных систем (маслоснабжения и уплотнения, автоматизации и энергоснабжения).

Для каждого типа и поколения ГПА (ГТУ и ЦБК) количество контролируемых параметров и критериев регулирования индивидуально.

Задача расчета и оптимизации режимов работы ГПА КС в процессе магистрального транспорта газа заключается в определении требуемых технологических параметров режимов работы ГТУ и ЦБК при заданных условиях транспорта газа (расход, давление и температура перекачиваемого газа) с одновременным соблюдением критериев энергоэффективности (оптимальный или рациональный политропный КПД ЦБК и эффективный КПД ГТУ).

Для эффективного решения задач по управлению, контролю, расчету и оптимизации режимов работы ГПА КС необходимо разработать адаптированные математические модели, которые описывают взаимосвязь между технологическими параметрами ЦБК и ГТУ в составе ГПА с учетом технического состояния.

Построение математических моделей

Для разработки адаптированных математических функций использовались статистические данные по технологическим параметрам режимов работы оборудования в процессе промышленной эксплуатации ГПА типа ГПУ-10 "Волна" ст. № 1 КС-2 "Ургала" магистрального газопровода "Челябинск — Петровск" Ду 1400 ООО "Газпром трансгаз Уфа" за период с 01.08.2010 по 02.09.2010, когда на КС работал один ГПА по схеме 1×1.

Приводом ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" является трехвальная ГТУ с двигателем ДР59Л, в качестве нагнетателя используется ЦБК типа H-370-18-1 с моделью проточной части H-370-76-1,24 (узкая



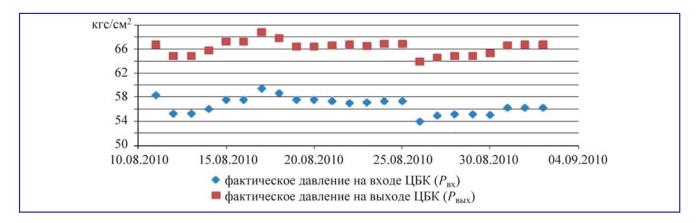


Рис. 1. Фактические давления перекачиваемого газа на входе/выходе ЦБК



Рис. 2. Фактические обороты ТН ЦБК

проточная часть). Общее количество установленных ГПА на КС-2 "Ургала" типа ГПУ-10 "Волна" — $8~\rm mr$.

Двигатель ДР59Л ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" по состоянию на 01.08.2010 г. имел наработку с последнего капитального ремонта (далее — KP) 5 434 ч.

В процессе промышленной эксплуатации по штатным измерительным приборам фиксировались следующие значения основных технологических параметров режимов работы $\Gamma\Pi A$ ст. N = 1 KC-2 "Ургала":

- давление (избыточное) перекачиваемого природного газа на входе ($P_{\text{вх}}$) и выходе ($P_{\text{вых}}$) ЦБК (рис. 1);
- обороты ЦБК ($n_{\rm TH}$) (турбины нагнетателя далее ТН) (рис. 2);
- температура перекачиваемого природного газа на входе ($T_{\text{вх}}$) и выходе ($T_{\text{вых}}$) ЦБК, а также температура окружающего воздуха ($T_{\text{возд}}$) (рис. 3);
- обороты ротора высокого давления (далее РВД) ГТУ ($n_{\text{РВД}}$), который состоит из компрессора высокого давления (далее КВД) и турбины высокого давления (далее ТВД) на одном валу (рис. 4);
 - давление атмосферного воздуха (рис. 5).

Расход транспортируемого природного газа по магистральному газопроводу "Челябинск — Пет-

ровск" фиксировался по показания газоизмерительной станции (далее — ГИС) "Долгодеревенская". Как отмечено выше, в период с 01.08.2010 по 02.09.2010 на KC-2 "Ургала" работал один ГПА ст. № 1 по схеме 1×1 .

Режим работы участка КС "Долгодеревенская" — КС "Ургала" магистрального газопровода "Челябинск — Петровск" был стационарным (квазистационарным) в каждый момент измерения технологических параметров (в том числе расхода транспортируемого газа). С учетом изложенного, расход газа, измеренный по показаниям ГИС "Долгодеревенская" принимается равным расходу транспортируемого газа через проточную часть ЦБК (рис. 6).

Для оценки возможности расчета, моделирования и синхронизации режимов работы ГТУ и ЦБК в составе ГПА методом баланса мощностей произведена оценка технического состояния по мощности ГТУ и ЦБК на основании данных промышленных эксплуатационных замеров (рис. 1—6). В качестве эталонных значений потребляемой мощности на турбине нагнетателя (далее — ТН) системы "ГТУ — ЦБК" определялись значения мощностей для каждого промышленного замера на основе газодинамических параметров потока транспортируемого газа через ЦБК по методу "энтальпий" [5]:

$$N_E = N_i + \Delta N_{\rm M} + N_{\rm T}, \qquad (1)$$



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

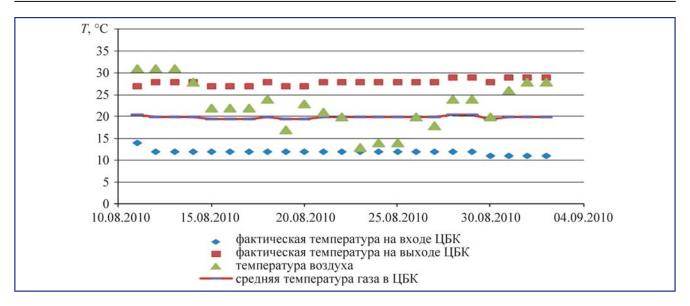


Рис. 3. Фактические температуры перекачиваемого газа и температура окружающего воздуха



Рис. 4. Фактические обороты КВД ГТУ



Рис. 5. Давление атмосферного воздуха

где N_i — внутренняя мощность ЦБК, кВт; ΔN_{M} механические потери в ЦБК, кВт; $N_{\rm T}-$ тепловые ~ кДж/кг; $G_{\rm H}-$ массовый расход газа через проточпотери ЦБН в окружающую среду, кВт,

где H_i — внутренняя удельная работа ЦБК, ную часть ЦБК, кг/с.

$$N_i = H_i G_H,$$
 (2) $H_i = i_{2H} - i_{1H},$

Рис. 6. Фактический расход газа через проточную часть ЦБК



где $i_{1\rm H}$ и $i_{2\rm H}$ — энтальпия перекачиваемого природного газа в сечениях входного и выходного патрубков ЦБК, кДж/кг,

$$N_{\rm T} = \alpha_{\rm T} F (T_{\rm H} - T_{\rm A}) \cdot 10^{-3},$$
 (4)

где $\alpha_{\rm T}$ — коэффициент теплоотдачи в окружающую среду, согласно [5], для выполнения оценочных расчетов допускается принимать $\alpha_{\rm T} = 14 \frac{{\rm BT}}{{\rm M}^2 \cdot {\rm K}}; F$ — площадь поверхности ЦБК (пас-

портная величина, также можно определить при помощи процедуры лазерного сканирования поверхности ЦБК), м 2 ; $T_{\rm H}$, $T_{\rm A}$ — соответственно средние температуры корпуса ЦБК (можно определить при помощи тепловизионного обследования поверхности корпуса ЦБК или накладных датчиков температур) и окружающего воздуха.

Рисунок 2 наглядно иллюстрирует, что в процессе промышленных замеров в период с 01.08.2010 по 02.09.2010 г. средняя температура транспортируемого газа в ЦБК незначительно отличалась от температуры окружающего воздуха в помещении ЦБК (способ базирования ГПУ-10 "Волна" на КС-2 "Ургала" блочного типа), поэтому тепловые потери от ЦБК в окружающую среду в условиях эксперимента достаточно малы по сравнению с внутренней мощностью, потребляемой ЦБК (рис. 7).

Согласно [5] механические потери ГПА $\Delta N_{\rm M}$ не превышают 1,0—1,5 % от потребляемой мощности. Наиболее достоверно оценку механических потерь можно произвести с применением измерителей крутящих моментов, устанавливаемых на валу турбины нагнетателя (силовой турбины) или специальных испытаний в заводских условиях.

Более подробно теплотехнические и газодинамические расчеты с использованием метода "эн-

тальпий" (а также метода "Шульца") изложены в методике [5].

Формулярная характеристика ГТУ (при стандартном атмосферном давлении), построенная по результатам стендовых испытаний в ОАО "Газтурбосервис" двигателя ДР59Л ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" [8] после последнего капитального ремонта (25 000 часов), аппроксимирована в виде функции (рис. 8):

$$n_{\text{PBJ}} = A_1 (t_{\text{BX}} + 273,15)^{\alpha_1} N_3^{\beta_1},$$
 (5)

где N_3 — загрузка ГТУ от номинального значения мощности; $t_{\rm вx}$ — температура воздуха на входе ГТУ, $^{\circ}$ С; $n_{\rm PBJ}$ — обороты РВД (КВД и ТВД), об/мин.

Коэффициенты Кобба—Дугласа A_1 , α_1 , β_1 определялись на основании решения системы уравнений [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_1} = 0\\ \frac{\partial F}{\partial \alpha_1} = 0,\\ \frac{\partial F}{\partial \beta_1} = 0 \end{cases}$$
(6)

где F — сумма квадратов разности логарифмов левой и правой частей функции (5) для принятого количества точек измерения.

Более подробно процедура определения коэффициентов A_1 , α_1 , β_1 с использованием формулярных характеристик трехвальных ГТУ изложена в работе [1]. Аналогичный подход может применяться для двухвальных ГТУ.

Формулярная (теоретическая) мощность, развиваемая ГТУ $N_{\text{ГТУ}}$ (кВт) по известным измеренным значениям оборотов РВД (рис. 4) и температур окружающего воздуха (рис. 3), определялась по



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

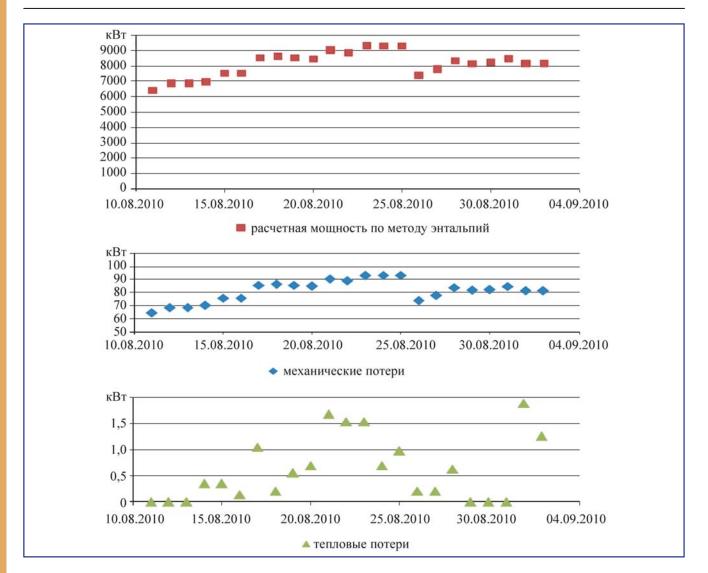


Рис. 7. Расчетная мощность ЦБК по методу энтальпий, тепловые и механические потери

модифицированной степенной функции Кобба— Дугласа, которая с учетом (5) примет вид:

$$N_{\text{ГТУ}} = N_{\text{ном}} \left(\frac{1}{A_{1}} n_{\text{РВД}} (t_{\text{вх}} + 273,15)^{-\alpha_{1}} \right)^{\frac{1}{\beta_{1}}},$$
 (7)

где $N_{\mbox{\tiny HOM}}$ — номинальная загрузка ГТУ (10 000 кВт для ГПУ-10 "Волна").

Формулярная мощностная характеристика ЦБК H-370-18-1 с моделью проточной части H-370-76-1,24 (узкая проточная часть) аппроксимирована методом наименьших квадратов [3, 4, 13] и представлена в виде модифицированного уравнения:

$$N_{i}^{\text{IIBK}} = \rho_{BC} \left(C_{0} + C_{1} \frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} + C_{2} \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} \right)^{2} + C_{3} \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} \right)^{3} \left(\frac{n_{TH}}{n_{H}} \right)^{3},$$

$$(8)$$

где C_0 , C_1 , C_2 , C_3 — коэффициенты аппроксимации, индивидуальные для каждого типа ЦБК; $\rho_{\rm BC}$ — плотность транспортируемого природного газа

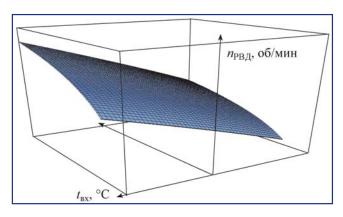


Рис. 8. Формулярная характеристика ГТУ ДР59Л ГПУ-10 "Волна" в трехмерной системе координат при стандартном атмосферном давлении



Значения коэффициентов функций (5) и (7)

Коэффициенты Кобба—Дугласа	Формулярная характеристика после последнего капитального ремонта ("новый" привод)
$A_{_1}$	426,691616696378
α_1	0,502247033911341
β_1	0,0784307979272151

при рабочих условиях в сечении входного трубопровода ЦБК, кг/м³; $x = \left[\frac{n}{n_{\rm H}}\right]_{\rm ПP}$ — приведенные

относительные обороты ротора ЦБК (ТН); $Q_{\rm CT}$ — расход перекачиваемого газа через проточную часть ЦБК, приведенный к стандартным условиям (рис. 6), млн м³/сут; K — переводной коэффициент, учитывающий размерность величин, входящих формулу (если приведенный расход $Q_{\rm ПР}$ в м³/мин, то K=694,44444); $n_{\rm H}$ — номинальное значение оборотов ротора ЦБК (ТН); A — коэффициент, зависящий от свойств газа на входе в проточную часть ЦБК:

$$A = \frac{\rho_{\rm CT}}{\rho_{\rm BC}} \sqrt{\frac{z_{\rm \Pi P} R_{\rm \Pi P} T_{\rm \Pi P}}{z_{\rm BC} R_{\rm BC} T_{\rm BC}}},$$
 (9)

где ρ_{CT} — плотность газа при стандартных условиях, $\kappa \Gamma/M^3$.

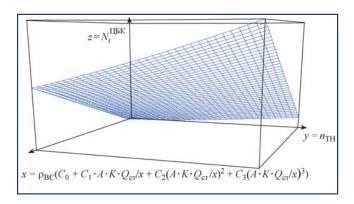


Рис. 9. Мощностная характеристика ЦБК

Комплекс
$$\left(C_0 + C_1 \frac{A \cdot K \cdot Q_{\text{CT}}}{x} + C_2 \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{\text{CT}}}{x} \right)^2 + \right. \\ + \left. C_3 \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{\text{CT}}}{x} \right)^3 \right) = \left[\frac{N_i}{\rho_{\text{BC}}} \right]_{\text{ПР}}$$
 представляет собой

внутреннюю приведенную индикаторную мощность ЦБК.

Паспортная (теоретическая) мощность, потребляемая ЦБК, определялась на основании уравнения (8) с учетом измеренных значений оборотов ЦБК (рис. 2), расходов транспортируемого газа через ЦБК (рис. 6) и плотности газа при рабочих условиях на входе в ЦБК.

На рис. 10 отображены результаты расчета потребляемой мощности на валу "ГТУ — ЦБК" (ТН), рассчитанные по формулярной характеристике ГТУ, формулярной характеристике ЦБК и по методу "энтальпий".

Как отмечено выше, значения мощности на ТН по методу "энтальпий" приняты за базовые (эталонные) значения, поскольку указанный метод ис-

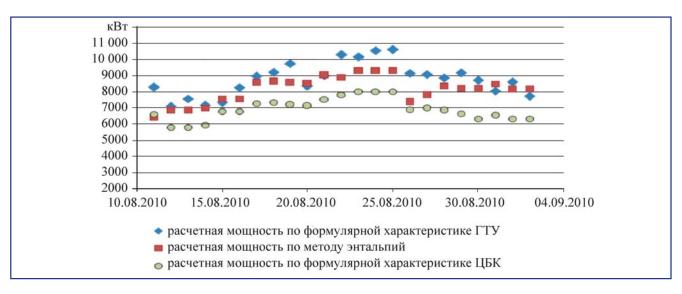


Рис. 10. Определение эффективной мощности ГТУ на валу ТН



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

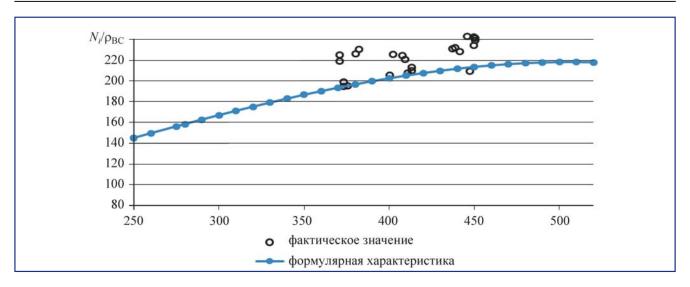


Рис. 11. Мощностная характеристика ЦБК в приведенном виде

пользуется при параметрических испытаниях ГПА и основан на инструментальных измерениях технологических параметров и газодинамических свойствах транспортируемого газа на входе и выходе ЦБК, при этом значительное влияние на точность расчета оказывает качество измерения технологических параметров.

С учетом выполненных исследований (рис. 10, 11) для данного случая можно предположить, что фактическая мощностная характеристика ЦБК изменилась со временем наработки (фактическое время наработки более 100 000 ч). Значения потребляемой мощности, определенные по формулярной характеристике ЦБК, отклоняются от результатов расчета по методу "энтальпий" в пределах 1–18 %. Таким образом, формулярная мощностная характеристика ЦБК позволяет определять потребляемую мощность с определенной технологической погрешностью, так как ЦБК имеют дос-

таточно длительное время наработки за весь период эксплуатации. При необходимости повышения точности расчета, необходимо провести процедуру идентификации, в процессе которой повторно определяются коэффициенты C_0 , C_1 , C_2 , C_3 уравнения (8) методом наименьших квадратов с использованием результатов фактических измерений, метода "энтальпий" (Шульца) или измерителей крутящего момента.

Мощностная характеристика ГТУ более существенно изменяется в зависимости от времени наработки (рис. 10). В условиях эксплуатации для рассматриваемой ГТУ (время наработки от последнего капитального ремонта 5 434 ч) ГПА ст. № 1, величина отклонения формулярной мощности привода от фактического значения по методу "энтальпий" составляет 1-15~% при среднем коэффициенте технического состояния по мощности $k_N=0.93$ (рис. 12).



Рис. 12. Коэффициент технического состояния ГТУ по мощности ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" по сост. 02.09.2010 г.

AT3K

Таким образом, точность формулярной характеристики ГТУ значительно ухудшается в процессе наработки. Для повышения точности моделирования проведена процедура адаптации (идентификации), целью которой является определение фактической характеристики ГТУ с использованием промышленных замеров и результатов метода "энтальпий".

Таким образом, с учетом фактического технического состояния ГТУ уравнение (7) примет адаптированный вид:

$$N_{\text{ГТУ}} = N_{\text{ном}} \left(\frac{1}{A_{1}} n_{\text{РВД}} (t_{\text{вх}} + 273,15)^{-\alpha_{1}} \right)^{\frac{1}{\beta_{1}}} k_{N}.$$
(10)

На рис. 13 в единой системе координат построены характеристики ГТУ на основе уравнения (10) для "нового" привода (после последнего капитального ремонта) при $k_N=1,00$ и привода после наработки 5 434 ч при $k_N=0,93$.

Функции (5), (7) и (10) уже учитывают изменение температуры воздуха, но при этом описывают область режимов работы ГТУ при стандартном атмосферном давлении $p_0 = 760$ мм.рт.ст (101 325 Па).

Используя положения теории подобия ГТУ [2] в функцию (10) вносится поправка на изменение давления воздуха на входе в ГТУ:

$$N_{\text{ГТУ}} = N_{\text{ном}} \times \left(\frac{1}{A_{1}} n_{\text{РВД}} (t_{\text{вх}} + 273,15)^{-\alpha_{1}} \right)^{\frac{1}{\beta_{1}}} \frac{p}{p_{0}} k_{N},$$
 (11)

где p — фактическое давление воздуха на входе в ГТУ.

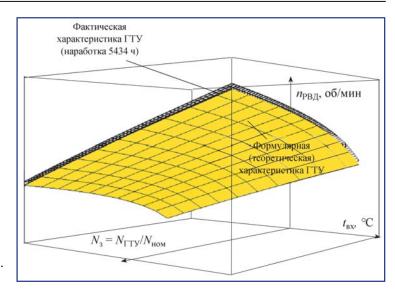


Рис. 13. "Смещение" характеристики ГТУ после наработки

Уравнение (11) можно использовать без коэффициента технического состояния по мощности в виде:

$$N_{\text{ГТУ}} = N_{\text{HOM}} \times \left(\frac{1}{A_{1 \text{ diakt}}} n_{\text{PBД}} (t_{\text{BX}} + 273,15)^{-\alpha_{1 \text{ diakt}}}\right)^{\frac{1}{\beta_{1 \text{ diakt}}}} \frac{p}{p_0}.$$
(12)

В формуле (12) индекс "факт" означает, что коэффициенты Кобба—Дугласа определяются по фактической характеристике ГТУ, полученной на основании промышленных замеров с использованием методов "энтальпий", "Шульца", теплового баланса или баланса мощностей с применением измерителей крутящего момента. Таким образом, коэффициенты *A*, а, β могут быть представлены в виде функций технического состояния ГТУ.

Адаптированные под фактическое техническое состояние математические модели (11), (12) обладают высокой сходимостью с измеренными значениями технологических параметров ГТУ (рис. 14).

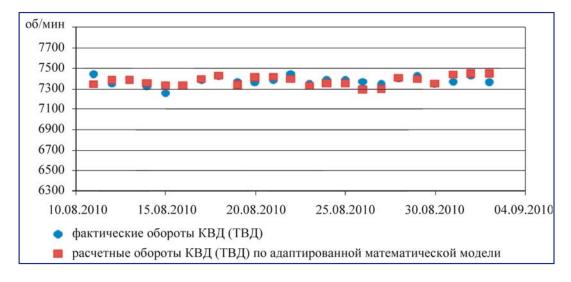


Рис. 14. Сходимость адаптированной характеристики ГТУ



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

Приняв допущение, что механические и тепловые потери, входящие в уравнение (1), много меньше внутренней мощности, потребляемой ЦБК (рис. 7), можно построить уравнение баланса мощностей "ГТУ – ЦБК":

$$N_E \approx N_{\text{CTV}} N_i^{\text{ILBK}} \tag{13}$$

или с учетом (8) и (11)

$$\rho_{BC} \left(C_0 + C_1 \frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} + C_2 \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + C_3 \left(\frac{A \cdot K \cdot Q_{CT}}{x} \right)^3 \right) \approx$$

$$\approx N_{\text{HOM}} \left(\frac{1}{A_1} n_{\text{PBJ}} (t_{\text{Bx}} + 273,15)^{-\alpha_1} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} \frac{p}{p_0} k_N$$

$$\rho_{BC} \left(C_0 + C_1 \frac{\rho_{CT} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} + C_2 \left(\frac{\rho_{CT} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\rho_{CT} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right)^3 \right) \left(\frac{n_{\text{TH}}}{n_{\text{H}}} \right)^3 \approx N_{\text{TTy}} =$$

$$= N_{\text{\tiny HOM}} \left(\frac{1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3} (t_{\text{\tiny BX}} + 273,15)^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)} \cdot n_{\text{\tiny PBД}} \cdot n_{\text{\tiny PHД}} \cdot t_4 \right)^{\frac{1}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}} \frac{p}{p_0} k_N.$$

Приведенные относительные обороты ТН определяются по известному уравнению [3, 10]:

$$x = \left[\frac{n_{\rm TH}}{n_{\rm H}}\right]_{\rm \Pi P} = \frac{n_{\rm TH}}{n_{\rm H}} \sqrt{\frac{z_{\rm \Pi P} R_{\rm \Pi P} T_{\rm \Pi P}}{z_{\rm BC} R_{\rm BC} T_{\rm BC}}}.$$
 (15)

Тогда выражение (14) с учетом (15) примет вид:

$$\rho_{BC} \left(C_0 + C_1 \frac{\rho_{BC} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_H}{\rho_{BC} \cdot n_{TH}} + C_2 \left(\frac{\rho_{BC} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_H}{\rho_{BC} \cdot n_{TH}} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\rho_{BC} \cdot K \cdot Q_{CT} \cdot n_H}{\rho_{BC} \cdot n_{TH}} \right)^3 \right) \left(\frac{n_{TH}}{n_H} \right)^3 \approx$$

$$\approx N_{TTY} = N_{HOM} \left(\frac{1}{A_1} n_{PBA} (t_{BX} + 273,15)^{-\alpha_1} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} \frac{p}{p_0} k_N.$$
(16)

В случае необходимости, эффективную мощность ГТУ можно представить в "расширенном" виде [1] с использованием остальных параметров, измеряемых на ГЩУ ГПА:

$$N_{\text{ITY}} = N_{\text{HoM}} \times \left(\frac{1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3} (t_{\text{BX}} + 273,15)^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)} n_{\text{PBД}} t_4 \right)^{\frac{1}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}} \times \left(\frac{p}{p_0} k_N \right),$$
(17)

где $n_{\text{РНЛ}}$ — обороты ротора низкого давления (ТНД и КНД), об/мин; t_4 — температура продуктов сгорания за ТНД (перед ТН, СТ), $^{\circ}$ С; $A_1, A_2, A_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, $\beta_1, \, \beta_2, \, \beta_3$ — коэффициенты Кобба—Дуласа [1].

При наличии измерений вместо t_4 можно использовать температуру продуктов сгорания за ТВД (t_3) . Количество технологических параметров, входящих в уравнение (17) неограниченно и зависит от типа и поколения ГПА.

С учетом (17) уравнение (16) примет вид:

$$+ C_{3} \left(\frac{\rho_{\text{CT}} \cdot K \cdot Q_{\text{CT}} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right)^{3} \right) \left(\frac{n_{\text{TH}}}{n_{\text{H}}} \right)^{3} \approx N_{\text{TTY}} =$$

$$\frac{1}{\beta_{1} + \beta_{2} + \beta_{3}} n_{\text{H}}$$
(18)

В результате обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов (рис. 15) получена статистическая математическая модель ГТУ в приведенном виде:

$$n_{\mathrm{PB},_{\mathrm{np}}} = \psi_{1} n_{\mathrm{TH}_{\mathrm{np}}}^{\chi_{1}} N_{\Gamma \mathrm{TY}_{\mathrm{np}}}^{\gamma_{1}}, \qquad (19)$$

где $n_{{
m PBД}_{{
m пp}}}$ — приведенные обороты РВД (ТВД и КВД); $n_{{
m TH}_{{
m np}}}$ — приведенные обороты ТН (СТ); $N_{_{\Gamma \Gamma Y_{_{PD}}}}$ — приведенная мощность ГТУ на валу ТН (СТ); ψ_1, χ_1, γ_1 — коэффициенты Кобба—Дугласа, индивидуальные для каждой ГТУ.

Приведенные параметры определяются согласно основных уравнений положения теории подобия ГТУ. Более подробно, теоретические основы теории подобия ГТУ изложены в источнике [2].

Формула (19) может быть представлена с использованием фактических (неприведенных) показателей:

$$n_{\text{PBJ}} = \psi_1 n_{\text{TH}}^{\chi_1} N_{\text{TTY}}^{\gamma_1} \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\gamma_1} \left(\sqrt{\frac{(t_0 + 273,15)}{(t_{\text{BX}} + 273,15)}} \right)^{(\chi_1 + \gamma_1 - 1)} (20)$$



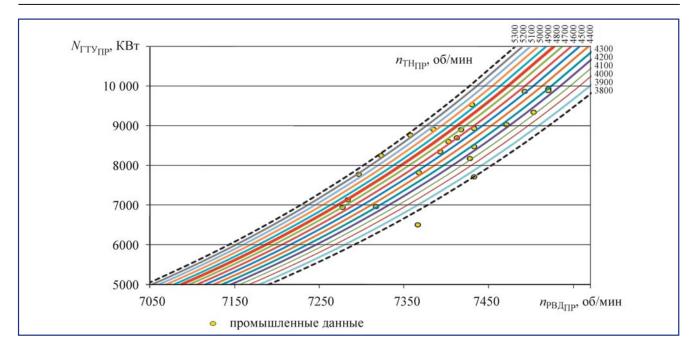


Рис. 15. Приведенная характеристика ГТУ ГПУ-10 "Волна" с приводом ДР59Л

Уравнения (16—20) представляют собой связь основных параметров перекачиваемого газа, технологических параметров ЦБК с основными технологическими параметрами режимов работы ГТУ. Данные функции интересны с точки зрения производственно-диспетчерского управления режимами транспорта газа ГПА (КС). Аналогичные уравнения можно получить и для ГПА с двухвальными ГТУ.

Определенную сложность представляет процесс определения расхода транспортируемого газа через проточную часть ЦБК. Для решения указанной задачи существует несколько способов:

- использование штатных конфузоров на входе ЦБК;
- использование ультразвуковых расходомеров (датчиков);
- монтаж измерительных диафрагм (сужающих устройств);
- расчетный метод по газодинамических параметрам газа и оборотам ЦБК.

Использование штатных конфузоров на входе ЦБК предполагает их точную тарировку и качественное определение коэффициента конфузора (A_k) .

Применение ультразвуковых расходомеров (датчиков) или измерительных диафрагм осложняется большими материальными затратами и определенными требованиями к технологической обвязке (в том числе наличием прямых участков). Несмотря на существующие проблемы, указанные методы в современное время могут реализовывать-

ся на КС ОАО "Газпром" в рамках программ реконструкции, модернизации и технического перевооружения.

Для технологических расчетов может применяться расчетный метод [3, 4] для определения расхода газа через проточную часть ЦБК по газодинамическим параметрам газа и оборотам ТН (СТ) по уравнению:

$$\epsilon^{2} = \left\{ \left[\frac{n_{\text{TH}}}{n_{\text{H}}} \right]_{\Pi P}^{2} \times \left((a_{0} + a_{1} [Q_{\Pi P}] + a_{2} [Q_{\Pi P}]^{2} + a_{3} [Q_{\Pi P}]^{3})^{\frac{k-1}{2k\eta}} - 1 \right) + 1 \right\}^{\frac{2k\eta}{k-1}}$$
(21)

или с учетом преобразований

$$\epsilon^{2} = \left\{ A^{2} \left(\frac{n_{\text{TH}}}{n_{\text{H}}} \right)^{2} \left(\frac{\rho_{\text{BC}}}{\rho_{\text{CT}}} \right)^{2} \left(\left(a_{0} + a_{1} \left[\frac{\rho_{\text{CT}} \cdot K \cdot Q_{\text{CT}} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right] + a_{2} \left[\frac{\rho_{\text{CT}} \cdot K \cdot Q_{\text{CT}} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right]^{2} + (22) \right. \\
\left. + a_{3} \left[\frac{\rho_{\text{CT}} \cdot K \cdot Q_{\text{CT}} \cdot n_{\text{H}}}{\rho_{\text{BC}} \cdot n_{\text{TH}}} \right]^{3} \right)^{\frac{k-1}{2k\eta}} - 1 + 1 \right\}^{\frac{2k\eta}{k-1}},$$

где a_0, a_1, a_2, a_3 — коэффициенты аппроксимации, индивидуальные для каждого типа ЦБК (опреде-



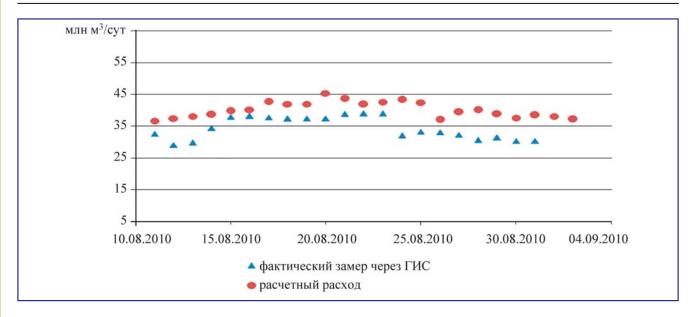


Рис. 16. Определение расхода газа через проточную часть ЦБК

ляются по формулярным характеристикам или экспериментальным данным с использованием инструментальных замеров).

Анализ промышленных и расчетных данных по ЦБК ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" (рис. 16) показал, что расчетный расход (приведенный к стандартным условиям) по формулярной характеристике ЦБК отличается от показаний коммерческого узла учета газа газоизмерительной станции (ГИС) в пределах 1-15%, что свидетельствует об ухудшении расходной характеристики ЦБК и необходимости повторного уточнения коэффициентов a_0 , a_1 , a_2 , a_3 уравнений (21) или (22) методом наименьших квадратов (рис. 17).

Таким образом, после уточнения коэффициентов a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , достоверное определение расхода через проточную часть ЦБК по уравнению (22) технически возможно (рис. 18).

На примере ЦБК типа H-370-18-1 с моделью проточной части H-370-76-1,24 (узкая проточная

часть) ГПА ст. № 1 КС-2 "Ургала" построен компьютерный тренажер в проекции на плоскость $\varepsilon - Q_{\rm cr}$ (рис. 18) для оперативного расчета рабочей точки с использованием адаптированного уравнения (22).

Соблюдение принципов энергетической эффективности является одной из приоритетных задач производственно-диспетчерского управления магистральным транспортом газа. На основании промышленных данных (рис. 1, 2) произведена процедура расчета фактического политропного КПД ЦБК (рис. 19) по методике [11], при этом отклонение фактических значений от формулярных величин составляет порядка 10—20 %, что также свидетельствует об ухудшении характеристики ЦБК,

$$\eta_{\text{IIBK}} = K_0 + K_1[Q]_{\text{IIP}} + K_2[Q]_{\text{IIP}}^2 + K_3[Q]_{\text{IIP}}^3.$$
 (23)

Таким образом, коэффициенты аппроксимации K_0 , K_1 , K_2 , K_3 полинома (24), индивидуаль-

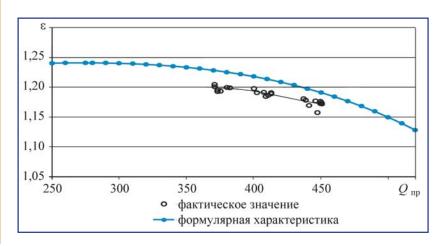


Рис. 17. Расходная характеристика ЦБК в приведенном виде при единичных приведенных относительных оборотах ТН

AL3K

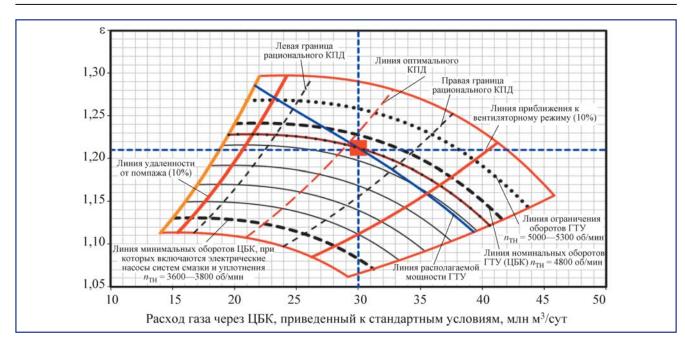


Рис. 18. Проекция на плоскость $\varepsilon - Q_{cr}$ характеристики ЦБК

ные для каждого типа ЦБК, также идентифицируются по результатам промышленных испытаний.

Эффективный КПД ГТУ (рис. 20) в промышленных условиях КС-2 "Ургала" определялся с учетом фактического расхода, низшей теплоты сгорания и энтальпии топливного газа согласно [5] по зависимости:

$$\eta_{e\Gamma TY} = \frac{N_e}{G_{T\Gamma}(Q_{\rm M} + i_{\rm T})}, \qquad (24)$$

где $G_{\rm T\Gamma}$ — расход топливного газа, кг/с; $Q_{\rm M}$ — массовая низшая теплота

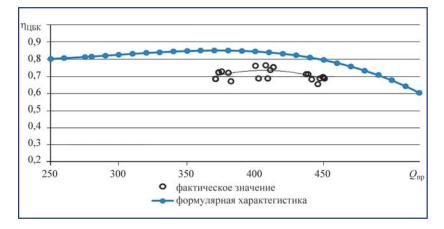


Рис. 19. Определение политропного КПД ЦБК

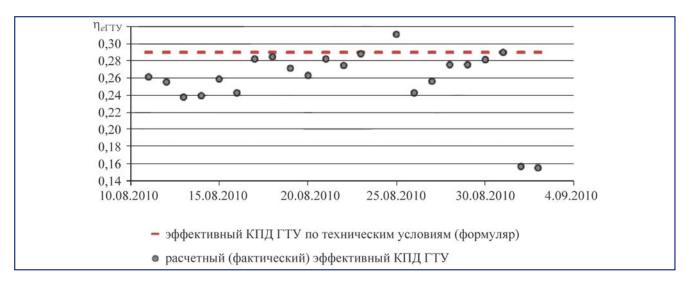


Рис. 20. Расчетный эффективный КПД ГТУ ДР59Л



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

сгорания топливного газа, кДж/кг; $i_{\rm T}$ — удельная энтальпия топливного газа, кДж/кг.

Расход топливного газа определялся по узлу учета расхода газа на собственные технологические нужды. Массовая низшая теплота сгорания принималась согласно данным паспорта качества газа, формируемого на основе лабораторного анализа проб. Удельная энтальпия топливного газа определялась с учетом фактических давлений и температур топливного газа ГПА.

Для решения задач энергоэффективности магистрального транспорта газа, характеристику ГТУ, описываемую уравнением (19) удобно представить в ином виде согласно [9] с нанесением линий эффективного КПД ГТУ (рис. 21), при этом учтем, что по теории подобия $\eta_{effy} = \eta_{effy}$.

что по теории подобия $\eta_{e\Gamma TY_{\Pi P}} = \eta_{e\Gamma TY}$. Характеристика ГТУ (рис. 21) может быть аппроксимирована в виде сложного уравнения на базе функции Кобба—Дугласа и полинома 4-й степени:

$$n_{\mathrm{PBJ}_{\mathrm{\PiP}}} = \psi_{2} (\eta_{e \, \mathrm{\GammaTY}}) \left(\frac{n_{\mathrm{TH}_{\mathrm{\PiP}}}}{100} \right)^{\chi_{2} (\eta_{e \, \mathrm{TTY}})} \left(\frac{N_{\mathrm{\GammaTY}_{\mathrm{\PiP}}}}{N_{\mathrm{HoM}}} \right)^{\gamma_{2} (\eta_{e \, \mathrm{\GammaTY}})}, \tag{25}$$

где $\psi_2(\eta_{e\, \Gamma T Y}), \chi_2(\eta_{e\, \Gamma T Y}), \gamma_2(\eta_{e\, \Gamma T Y})$ — коэффициенты, зависящие от значения эффективного КПД ГТУ:

$$\psi_{2}(\eta_{e\Gamma TY}) = a_{0} + a_{1} \eta_{e\Gamma TY} + a_{2} \eta_{e\Gamma TY}^{2} + a_{3} \eta_{e\Gamma TY}^{3} + (26) + a_{4} \eta_{e\Gamma TY}^{4};$$

$$\chi_{2}(\eta_{e\Gamma TY}) = b_{0} + b_{1} \eta_{e\Gamma TY} + b_{2} \eta_{e\Gamma TY}^{2} + b_{3} \eta_{e\Gamma TY}^{3} + (27) + b_{4} \eta_{e\Gamma TY}^{4};$$

$$\gamma_2(\eta_{e\Gamma TY}) = c_0 + c_1 \eta_{e\Gamma TY} + c_2 \eta_{e\Gamma TY}^2 + c_3 \eta_{e\Gamma TY}^3 + (28) + c_4 \eta_{e\Gamma TY}^4.$$

Коэффициенты аппроксимации, входящие в полиномы (26), (27) и (28):

- определяются по экспериментальным данным или формулярным характеристикам ГТУ;
- индивидуальны для каждого типа Γ ТУ, а также для Γ ТУ в пределах одного типа, эксплуатируемых на КС (в зависимости от технического состояния).

При наличии других измеряемых параметров (давлений и температур воздуха за осевым компрессором ГТУ, температуры и состава продуктов сгорания за ТН (СТ) ГТУ, температур продуктов сгорания до и после турбин ГТУ) аналогичным способом возможно построение математических моделей, включающих другие параметры энергоэффективности ГТУ, например КПД осевого компрессора или КПД турбины ГТУ.

Однако следует отметить, что измерительные элементы на выходе осевого компрессора (например, КВД для трехвальных ГТУ) находятся в зоне термического влияния камеры сгорания ГТУ, что

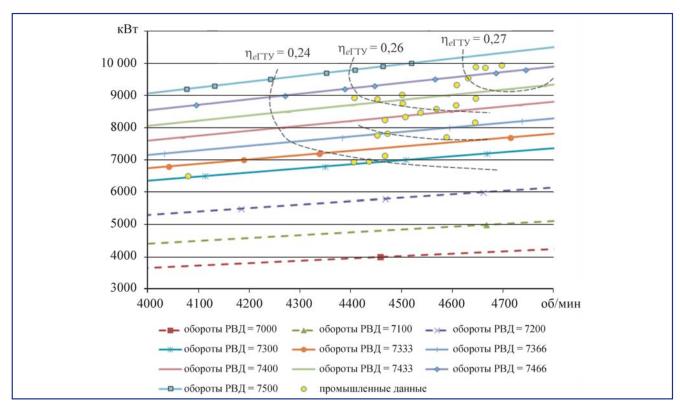


Рис. 21. Приведенная характеристика ГТУ ГПУ-10 "Волна" по промышленным данным



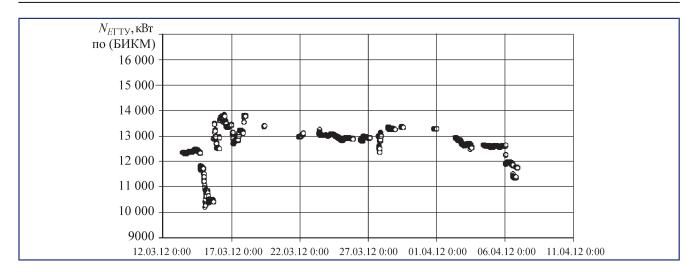


Рис. 22. Результаты измерений мощности на валу СТ ГПА-16Р "Уфа" с использованием БИКМ М-106М

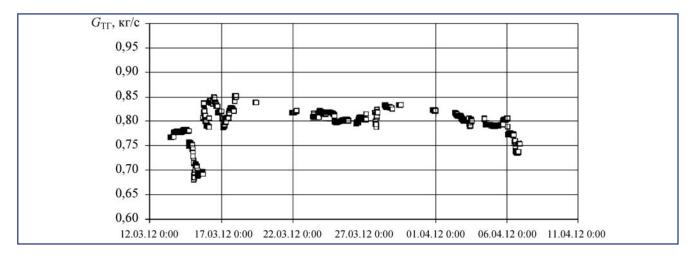


Рис. 23. Результат измерений расхода топливного газа ГТУ с использованием штатной САУиР ГПА

значительно влияет на точность и качество определения КПД осевых компрессоров ГТУ по данным инструментальных замеров. Также отсутствуют измерения температур на выходе камер сгорания ГТУ в связи с неравномерностью температурного поля и большими значениями температур продуктов сгорания. В современных ГТУ четвертого поколения отсутствует измерение температур продуктов сгорания за ТВД из-за аналогичных причин.

Кроме качества измерения технологических параметров ГТУ и ЦБК значительное влияние на точность построения экспериментальных характеристик оказывает количество замеров экспериментальных данных.

Аналогичные исследования по построению фактических характеристик проведены для ГПА-16Р "Уфа" с ГТУ четвертого поколения

(АЛ-31СТ, АЛ-31СТН) в условиях промышленной эксплуатации на КС-5 "Москово".

Мощность ГПА-16Р "Уфа" на валу СТ (рис. 22) измерялась с использованием измерителя крутящего момента БИКМ М-106М, состоящего из вращающегося ротора, неподвижного статора и блока обработки [7]. В процессе измерений ГПА работал в режиме "магистраль".

Расход топливного газа фиксировался по индивидуальному узлу учета расхода топливного газа ГТУ с использованием вычислителей в составе САУиР ГПА (рис. 23).

Далее по уравнению (24) произведена оценка эффективного КПД ГТУ с использованием результатов измерений (рис. 24).

С использованием БИКМ, на примере ГПА-16Р "Уфа" с приводом АЛ-31СТ и нагнетателем H-370-76-1,4/5300 (СПЧ), разработаны



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

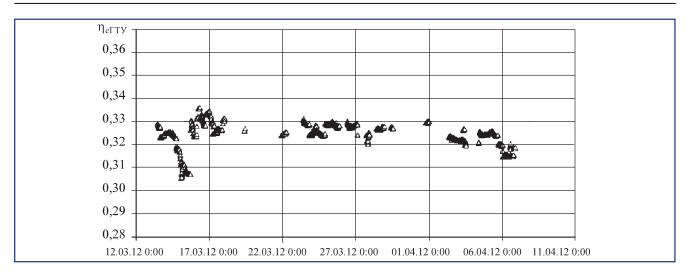


Рис. 24. Расчетный эффективный КПД ГТУ ГПА-16Р "Уфа" на основании результатов измерения мощности и расхода топливного газа

адаптированные математические модели, описываемые уравнениями (5-8), (10-12), (16-17), (19), (25). Подобные исследования можно выполнить для ГПА других типов (в том числе двухвальных).

С научно-практической точки зрения интересно объединение нескольких методов определения технического состояния и фактических газодинамических характеристик на работающем в режиме "магистраль" ГПА в режиме одного эксперимента (со сравнением результатов расчета), так как каждый из методов (энтальпий, Шульца, теплового баланса или баланса мощностей с применением БИКМ) имеет свои преимущества при оценке режимов работы оборудования.

Преимущество метода теплового баланса заключается в определении состава и термодинамических параметров продуктов сгорания ГТУ инструментальными средствами и возможностью последующего расчета коэффициента избытка воздуха, расхода воздуха и продуктов сгорания по трактам ГТУ, температур до и после турбины, эффективной мощности, КПД ГТУ и других параметров, при этом на точность расчетов существенное влияние оказывает качество и методика проведения измерений.

Преимущество метода баланса мощностей с применением БИКМ заключается в прямом измерении крутящего момента и мощности на валу СТ "ГТУ—ЦБК" (рис. 22), при этом одновременно фиксируются остальные измеряемые параметры режимов работы ГТУ с последующим построением статистических (дроссельных) характеристик в результате прямых измерений без проведения термодинамических расчетов. Тензорезисторный мост

на роторе БИКМ находится в зоне термического влияния ГТУ через вал СТ, что требует внесения в вычислительный блок БИКМ температурной поправки и влияет на качество измерений. Влияние температурных режимов работы ГТУ на качество измерений мощности на валу СТ с использованием БИКМ является задачей дополнительных исследований. В настоящее время БИКМ эксплуатируются (в ограниченном количестве) и внедряются на КС ОАО "Газпром" в рамках программ модернизации и реконструкции.

Преимущество метода энтальпий (и метода Шульца) заключается в возможности расчета внутренней мощности ЦБК по газодинамическим параметрам перекачиваемого газа, при этом качество измерения газодинамических параметров существенно влияет на точность расчета.

Вычисляя разницу между мощностью на валу СТ (ТН) по БИКМ и внутренней мощностью ЦБК по методу энтальпий, можно определить значения механических и тепловых потерь в ЦБК:

$$(N_{E \Gamma TY_{\text{BMKM}}} - N_i) = \Delta N_{\text{M}} + N_{\text{T}}. \tag{29}$$

Пренебрегая тепловыми потерями в ЦБК, получим:

$$(N_{E \text{ }\Gamma \text{TY}_{\text{EHVM}}} - N_i) \approx \Delta N_{\text{M}}.$$
 (30)

Таким образом, одновременное применение БИКМ и метода энтальпий в режиме одного эксперимента дополнительно позволит получить эм-



пирическую зависимость для механических потерь в ЦБК:

$$\Delta N_{\rm M} = f(N_{E \mid \text{TTY}_{\text{БИКМ}}}, n_{\rm CT}) =$$

$$= B \left(\frac{n_{\rm CT}}{n_{\rm H}}\right)^{S} \left(\frac{N_{E \mid \text{TTY}_{\text{БИКМ}}}}{N_{\rm HOM}}\right)^{\Phi}. \tag{31}$$

Определение коэффициентов B, ϕ и s функции (31) с применением БИКМ является задачей дополнительных экспериментальных исследований.

Выводы

В результате исследований рассмотрены варианты построения статистических функций, описывающих режимы работы ГПА. Разработанный подход к процессам эксплуатации газоперекачивающих агрегатов может применяться для остальных типов газотурбинных установок в составе ГПА с учетом индивидуальных коэффициентов аппроксимации и соответствует "Перечню научно-технических проблем ОАО "Газпром".

Полученные функции могут применяться для:

- расчета, оптимизации, управления и контроля режимов работы ГПА в процессе производственно-диспетчерского управления магистральным транспортом газа;
 - составления алгоритмов САУиР ГПА;
- параметрического (трендового) контроля технологических параметров и технического состояния $\Gamma\Pi A$.

Для решения задач энергоэффективного управления режимами работы ГПА предлагается нанести область оптимального и рационального КПД ГТУ описываемых уравнением (25) на характеристику ЦБК (рис. 18).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов Э.С., Гольянов А.И.** Совершенствование процессов эксплуатации газоперекачивающих агрегатов // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2012. № 1. С. 30–46. URL: http://www.ogbus.ru/authors/IvanovES/ IvanovES_1.pdf

- 2. **Шнеэ Я.И.** Газовые турбины (теория и конструкция). М.: Машгиз, 1960. 560 с.
- 3. **Гольянов А.И., Султанов Н.Ф.** Расчет режимов работы компрессорной станции. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Уфа: УНИ, 1987. 26 с.
- 4. Гольянов А.И. и др. Характеристика центробежного нагнетателя для расчета режимов работы компрессорных станций магистральных газопроводов // Реферативный сборник. М.: ВНИИГазпром, 1982. 13 с.
- 5. **Щуровский В.А., Синицын Ю.Н., Корнеев В.И., Черемин А.В., Степанов Г.С.** ПР 51-31323949-43-99. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: ВНИИГаз, 1999. 29 с.
- 6. **Волков М.М., Михеев А.Л., Конев К.А.** Справочник работника газовой промышленности. М.: Недра, 1989. 280 с.
- 7. **Измеритель** крутящего момента бесконтактный БИКМ М-106М для агрегата ГПА-16Р "Уфа". Руководство по эксплуатации. КМЕВ.421218.000 РЭ. ООО ФПК "Космос—нефть—газ". 2011. 21 с.
- 8. Двигатель ДР59Л. Формуляр. Р59108100 ФО. Криворожский турбинный завод "Восход". г. Кривой Рог. 169 с.
- 9. **Двигатель АЛ-31СТН.** Руководство по эксплуатации. 60.РЭ 1 ред. 2. Кн. 1. Уфа: ОАО "УМПО". C. 22—30.
- 10. **СТО Газпром 2-3.5-051-2006.** Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. М.: ВНИИГаз, 2006. 187 с.
- 11. **СТО Газпром 2-1.20-122-2007.** Методика проведения энергоаудита компрессорной станции, компрессорных цехов с газотурбинными и электроприводными ГПА. М.: ВНИИГаз, 2007. 115 с.
- 12. **Р Газпром 2-3.5-438-2010.** Расчет теплотехнических, газодинамических и экологических параметров газоперекачивающих агрегатов на переменных режимах. М.: ВНИИгаз, 2010. 70 с.
- 13. Тихонов А.Д. и др. Альбом характеристик центробежных нагнетателей природного газа. М.: ВНИИГаз, 1985, 86 с.
- 14. **СТО Газпром 2-2.3-250-2008.** Методика по определению выходных показателей ГТУ агрегата ГПА-Ц-8, ГПУ-10, ГПУ-16. М.: Оргэнергогаз, 2008. 24 с.
- 15. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Современные компьютерные тренажеры в трубопроводном транспорте. М.: МАКС Пресс, 2007. 200 с.



УДК 629.33

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В.А. Зенченко, канд. техн. наук, МАДИ; А.Н. Глотов, канд. техн. наук, ООО "ЮТА-АвтоСервис"

В мировой и отечественной практике в последнее десятилетие наблюдается интенсивный рост автотранспортных средств (АТС), использующих газовое топливо: газ сжиженный нефтяной (ГСН).

Ключевые слова: газовое топливо; затраты на эксплуатацию; газобаллонные автомобили; нормативно-техническая документация; затраты на ТО и ремонт; эффективность технической эксплуатации.

WORKING CONDITIONS OF SERVICE OF GAS SUPPLY SYSTEMS CARS

Zenchenko V.A., Ph. D. of technical sciences, MADI; **Glotov A.N.**, Ph. D. of technical sciences, OOO "UTA-AvtoService"

The world and national practice in the last decade has seen intensive growthtion vehicles using gas fuel: liquefied petroleum gas.

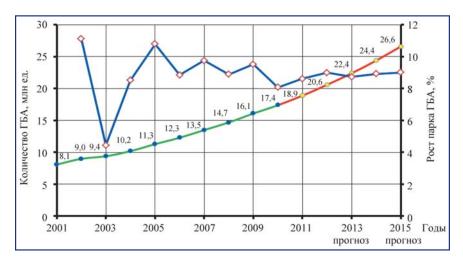
Keywords: fuel gas; the cost of operation; gas-cylinder cars-whether; specifications and technical documentation; the cost of maintenance and repair of, the effectiveness of the operation-cal.

Ежегодное увеличение автотранспортных средств, использующих газовое топливо: (в динамике с учетом прогноза) на протяжении последнего десятилетия, как в отечественной, так и в мировой практике, показано на рис. 1 [16].

Такая тенденция обусловлена возросшими требованиями к ATC по снижению затрат на их эксплуатацию и ужесточению экологических норм к токсичности отработавших газов (ОГ), поскольку по сравнению с традиционными топливами ГСН менее токсичен. Использование его позволяет улучшить экологическую ситуацию, что очень важно особенно для крупных городов.

По данным производителей ГСН [14, 15] объем производства к 2015 г. превысит его потребление на 1 млн т./г. В связи с этим правительством РФ намечен ряд мер по стимулированию потребления ГСН, как альтернативного вида моторного топлива, предполагающих увеличение производства газобаллонных автомобилей (ГБА) в заводском исполнении. При этом уже в настоящее время доля потребления газа в качестве автомобильного топлива в РФ составляет 2 % и по прогнозам [4, 10, 11] будет расти.

Исторически в РФ широкое распространение переоборудование бензиновых автомобилей в газобаллонные получило еще в конце 1980-х гг. В основном



Puc. 1. Динамика мирового развтия парка газобаллонных автомобилей, работающих на ГСН

AL3K

ISSN 2073-8323

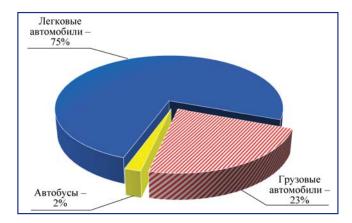


Рис. 2. Структура парка ГБА, работающих на ГСН в процентах

увеличение парка ГБА происходило за счет переоборудования серийных бензиновых автомобилей и, в первую очередь, легковых (75 %, рис. 2).

В настоящее время в РФ, так же как и в других странах, наблюдается рост парка ГБА, работающего на ГСН, его инфраструктуры и такая тенденция по всей видимости сохранится и в будущем. При этом наиболее интенсивно вопросом продвижения на рынок АТС, работающих на ГСН, с 2010 г. занимается группа ГАЗ, производящая газобаллонные автомобили "Газель-бизнес" [8, 12]. Одновременно для обеспечения парка ГБА в последние годы вводятся в строй передвижные автомобильные газонаполнительные станции (АГНС). Следовательно, можно сделать вывод о том, что парк ГБА, работающих на ГСН, в РФ имеет тенденцию к росту, объемы потребления ГСН увеличиваются, сеть АГНС развивается. С целью улучшения экологической ситуации в ряде областей и городов РФ действуют и внедряются программы по использованию ГСН на автомобильном транспорте (АТ). Например, в Москве, перевод бензиновых автомобилей на ГСН осуществляется в соответствии с программой "Снижение вредного влияния АТ на окружающую среду в г. Москве" [9] и постановлениями Правительства [6, 7]. Очевидно, что в дальнейшем, при благоприятной экономической конъюнктуре темп роста парка ГБА ГСН в России сохранится.

В то же время для поддержания парка ГБА в технически исправном состоянии и повышения его экологической безопасности АТП необходима соответствующая нормаривно-техническая документация (НТД), определяющая режимы и технологию ТО и ремонта, методы диагностирования и поиска неисправностей, рекомендации по обеспечению минимальной токсичности ОГ, оборудование и инструмент и др. В настоящее время в полном объеме такая документация не разработана и не внедрена, что приводит в реальной действительности к значительным затратам на ТО и ремонт и снижению уровня работоспособности и прибыльности АТС. Необходимость решения данного вопроса связана с тем, что при пе-

реоборудовании серийных автомобилей в России используют ГСП различных конструкций, отличающихся сложностью, надежностью, экологическими характеристиками, нормативными значениями режимов обслуживания, технологиями ТО и ремонта, применяемым оборудованием.

На практике в РФ используются конструкции ГСП четырех поколений [1, 13–15], а именно: механические системы с пневматическим управлением (1-е поколение); механические системы с пневматическим управлением, дополненные электронным дозатором газа и блоком управления ГСП (2-е поколение); системы распределённого одновременного и полупоследовательного впрыска газа с механическими форсунками (3-е поколение); системы распределенного последовательного впрыска газа с электромагнитными форсунками, управляемые более совершенным ЭБУ, способным взаимодействовать со штатными диагностическими системами OBD, OBD-2 и EOBD (4-е поколение). Кроме того, на мировом рынке началось продвижение систем с непосредственным впрыском газа в камеру сгорания (системы 5-го поколения).

Уровень затрат на поддержание работоспособности и уровень надежности в эксплуатации автомобилей, определяющий работоспособность АТС, оснащенных новыми типами ГСП с ЭСУД (четвертого и пятого поколений), в значительной мере зависит от степени обоснованности используемых нормативов технического обслуживания и ремонта. Вместе с тем, как отмечалось выше, нормативно-техническая документация (НТД) по эксплуатации, режимам и технологиям обслуживания газобаллонных автомобилей (ГБА), оснащенных ГСП с ЭСУД, разработанная для ранних типов и конструкций ГСП, не соответствует сегодняшнему уровню их развития.

В связи с этим в условиях интенсивного совершенствования конструкций автотранспортных средств и их элементов важным фактором повышения эффективности технической эксплуатации является сокращение сроков разработки научно-обоснованных нормативов и их оперативное корректирование с учетом конкретных условий эксплуатации. Это имеет прямое отношение и к формированию научно-обоснованных режимов технического обслуживания (ТО) отмеченных систем. Их отсутствие приводит к снижению эксплуатационной надежности и значительным затратам на поддержание АТС в исправном состоянии и, соответственно, к потерям транспортной работы. Острота данного вопроса встала на повестку для после вступления в силу Закона о техническом регулировании, отменившим "Положение о ТО и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта", регламентировавшего режимы ТО и ремонта АТС. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что рекомендации заводов производителей АТС и их элементов не всегда соответствуют специфике эксплуатации автомобилей, оснащенных



ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

ГСП с ЭСУД, особенно на начальном (гарантийном) периоде эксплуатации. Поэтому руководителям автотранспортных предприятий и частным владельцам АТС приходится принимать режимы обслуживания исходя из собственного опыта, что не всегда (или, как правило) является рациональным решением.

В связи с изложенным необходимость проведения исследований, направленных на разработку методов формирования и корректировки режимов обслуживания ГСП с ЭСУД (особенно последних поколений), на стадиях их освоения, постоянной модернизации и последующей эксплуатации автомобилей не вызывает сомнения и обусловливает их актуальность.

При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что в реальной действительности, в процессе решения поставленной задачи для новых систем ГСП с ЭСУД, на начальной стадии их эксплуатации, возникают трудности с получением достоверной информации о надежности элементов, что исключает возможность использования раннее разработанных и успешно апробированных методов и методик, поскольку их применение требует проведения длительных эксплуатационных наблюдений, что не всегда (и как правило) возможно (в том числе и использование методик, обеспечивающих формирование рациональных режимов обслуживания элементов автотранспортных средств новых моделей на начальной стадии их освоения в условиях ограниченной информации о надежности систем [2, 3]).

В то же время при формировании режимов обслуживания необходимо учитывать такую особенность, как экономическая нецелесообразность проведения контроля технического состояния и обслуживания элементов рассматриваемых систем (ГСП с ЭСУД последних поколений), когда их техническое состояние на начальном периоде эксплуатации выше среднего. При накоплении же пробегов АТС и естественного износа элементов (и их старения) может возникать объективная необходимость в ужесточении режимов обслуживания, вызывающих более частое обращение на контроль технического состояния, обслуживание и предупредительный ремонт с целью обеспечения рационального уровня работоспособности АТС и минимизации как затрат на поддержание заданного уровня надежности, так и потерь в транспортной работе.

Вышеотмеченные требования, особенности и ограничения, связанные со сложностью (или невозможностью) применения существующих методов и методик формирования рациональных (или оптимальных) режимов обслуживания новых типов ГСП с ЭСУД в условиях отсутствия информации о закономерностях (функциях) распределения наработок на отказы, вызывают целесообразность использования для рассматриваемой задачи специальных прикладных методов оптимизации, базирующихся на применении минимаксных принципов определения стратегий обслуживания. Такие стратегии предполагают

минимизацию возможного максимального ущерба (с получением оптимальных значений показателя функционирования системы для наихудших вариантов характеристик ее надежности) при определении и назначении моментов контроля технического состояния и, при необходимости, восстановления работоспособности элементов на любом пробеге заданного интервала эксплуатации системы.

Таким образом, задача в выборе оптимальной стратегии сводится к определению таких моментов времени $(L_1, L_2, ..., L_k)$ $< L_n$ проведения контроля технического состояния (проверок), при которых минимизировалось бы математическое ожидание S полных затрат от отказов и от самого контроля.

Математическое ожидание величины общих затрат и потерь, согласно [5], в данной ситуации может быть отражено в виде:

$$S = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{L_{k}}^{L_{k+1}} [S_{\Pi}(k+1) + S_{0}(L_{k+1} - L)] dF(L),$$
 (1)

где $k=\overline{(1,\ n)}$ — порядковый номер контроля технического состояния и обслуживания ГСП (номер проверки); L_k — наработка на момент проведения k-й проверки (контроля технического состояния и обслуживания) ГСП; S_{Π} — затраты на проверку (контроль технического состояния ГСП); S_0 — затраты на устранение отказа ГСП и потери АТС транспортной работы по причине потери его работоспособности и снижения уровня безопасности в эксплуатации; F(L) — вероятность возникновения отказа элемента на L-м пробеге АТС.

При неизвестных законах распределения наработок элементов на отказы и, соответственно, значений F(L), равных значениям вероятностей возникновения отказов элементов на момент проведения k-й проверки $F(L_k)$, применение минимаксного подхода предусматривает выбор в качестве вероятности F(L) наиболее неблагоприятное с точки зрения затрат распределение, в качестве которого выступает равномерное значение на интервале $[0, L_{\text{зал}}]$.

В связи с этим выражение (1) принимает вид:

$$S = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{L_k}^{L_{k+1}} [S_{\Pi}(k+1) + S_0(L_{k+1} - L)] \frac{dL}{L_{\text{зад}}}.$$
 (2)

В данном выражении величина общих затрат и потерь (S) моделируется для каждого элемента рассматриваемой системы ГСП с ЭСУД, с последующей ее минимизацией и формированием однородных кластеров множества (S) в сечениях выявленных моментов проверок (контролей технического состояния элементов), что, в конечном итоге, позлит сформировать оптимальные режимы контроля и обслуживания ГСП с учетом интенсивности эксплуатации АТС и изменения (и, соответственно, старения) для них накопленных пробегов.



Вместе с тем необходимо учитывать то, что в процессе проведения контроля технического состояния элементов ГСП на величины S_{Π} (затраты на контроль технического состояния ГСП) и S_{0} (затраты на устранение отказов и потери транспортной работы ATC) оказывают влияние:

- уровень квалификации персонала (K);
- уровень оснащенности диагностическим и технологическим оборудованием для производства обслуживания и ремонта $\Gamma C\Pi (U)$;
 - затраты на устранение отказов ГСП (C_{30});
- потери транспортной работы ATC вследствие невозможности выполнения транспортной работы ATC и снижения уровня их безопасности в эксплуатации (Π_0);
- дисконт d (т.е. норма приведения разновременных затрат с учетом фактора времени t, инфляционных ожиданий i и ставки рефинансирования ЦБ r), влияющая в свою очередь на C_{30} , Π_0 , S_0 и S_Π , т.е.

$$S_{\Pi} = f(K; U), \tag{3}$$

$$S_0 = f(K; C_{30}; \Pi_0; d).$$
 (4)

При этом величина дисконта d выступает в качестве функционала

$$d = f(t; i; r), \tag{5}$$

где t — срок службы диагностического и технологичного оборудования, используемого для обслуживания элементов ГСП; i — инфляционные ожидания; r — ставка рефинансирования ЦБ.

Между тем уровень оснащенности диагностическим и технологическим оборудованием для производства обслуживания и ремонта ГСП (U) зависит от производительности, информативности, технического совершенства и, соответственно, стоимости диагностического оборудования ($C_{\text{п об}}$), используемого при проверке технического состояния элементов ГСП:

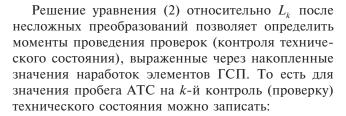
$$U = f(C_{\text{mon}}). \tag{6}$$

В свою очередь величина затрат на восстановление работоспособности Γ СП ($C_{_{30}}$) также определяется уровнем оснащенности диагностическим и технологическим оборудованием (U), т.е.

$$C_{30} = f(U). \tag{7}$$

В то же время потери По транспортной работы АТС, возникающие вследствие отказа ГСП, приводящего к невозможности выполнения транспортной работы АТС и, в ряде случаев, к снижению уровня их безопасности в эксплуатации, зависят от уровня значимости α отказов и их последствий для клиентуры (потери времени, потери транспортной работы, снижение безопасности эксплуатации ГСП), т.е.

$$\Pi_0 = f(\alpha). \tag{8}$$



$$L_{k} = \frac{kL_{\text{\tiny 3AR}}}{n} + k(n-k)\frac{S_{\pi}}{2(S_{0}/P_{n})}, \quad k = (\overline{1, n}), \quad (9)$$

где n — число проверок (контролей технического состояния элемента Γ С Π) за срок его службы; k — порядковый номер проверки технического состояния Γ С Π ; P_n — вероятность обнаружения отказа при проверке технического состояния элементов Γ С Π .

При этом в процессе формирования последовательности проверок (контроля технического состояния) $\{L_k\}$ с учетом роста накопленных пробегов и возможного снижения уровня надежности элементов ГСП с ЭСУД должно выполняться условие:

$$n(n-1) \le \frac{2L_{\text{3aa}}(S_0 / P_n)}{S_{\Pi}}.$$
 (10)

В выражении (10) n выбирается как наибольшее целое число, после чего уже окончательно формируется массив пробегов $-\{L_k\}$, т.е. $L_1 < L_2 < ... < < ... < L_k < ... L_n$, характеризующий накопленные значения наработок на случай контроля (проверок) технического состояния согласно выражению (9).

На рис. 3—5 в общем виде представлен характер изменения:

- накопленных значений наработок L_k на случай контроля (проверок) технического состояния как функция $L_k = f(k)$;
- периодичности ΔL_k контроля технического состояния элементов ГСП в зависимости от накопленных значений наработок L_k на случай контроля;
- периодичности ΔL_k в зависимости от порядкового номера k проверки технического состояния ГСП.

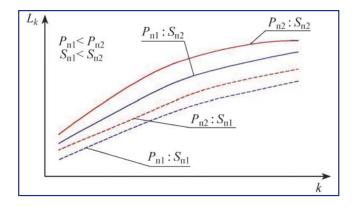


Рис. 3. Характер изменения накопленных значений наработок L_k на случай контроля (проверок) технического состояния



ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

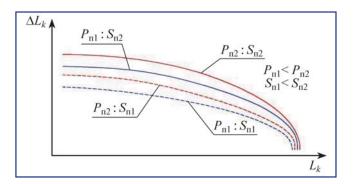


Рис. 4. Изменение периодичности контроля технического состояния ΔL_k элементов в зависимости от накопленных значений наработок L_k на момент контроля состояния $\Gamma C \Pi$

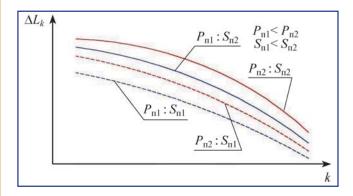


Рис. 5. Изменение периодичности контроля технического состояния ΔL_k в зависимости от порядкового номера k проверки $IC\Pi$

Отмеченные в качестве примера графические зависимости принципиально отражают прогнозное изменение рассматриваемых характеристик L_k , ΔL_k при различных вероятностях обнаружения отказов P_{ni} (определяемых точностью постановки диагноза о техническом состоянии на основе использования соответствующего оборудования, т. е. уровнем оснащенности и технологий U) и различных затратах $S_{\Pi i}$ на контроль технического состояния ГСП (определяемых квалификацией как персонала K, так и уровнем оснащенности U одновременно).

При этом для периодичности ΔL_{ν} можно записать:

$$\Delta L_k = L_k - L_{k-1} \,. \tag{11}$$

Проведенные теоретические исследования в рамках представленных подходов и принципов позволяют целенаправленно подойти к формированию гибких режимов обслуживания элементов ГСП, обеспечивающих учет роста накопленных пробегов АТС, их старения, квалификации персонала, используемых технологий и оборудования, производительности автомобилей и, соответственно, уровня доходности перевозок, состояния экономики (выражаемой через инфляционные ожидания и ставки рефинансирования) и других показателей.

Проведенные теоретические исследования в рамках представленных подходов и принципов позволяют целенаправленно подойти к формированию гибких режимов обслуживания элементов ГСП с ЭСУД, обеспечивающих учет роста накопленных пробегов АТС, их старения, квалификации персонала, используемых технологий и оборудования, производительности автомобилей и, соответственно, уровня доходности перевозок, состояния экономики (выражаемой через инфляционные ожидания и ставки рефинансирования) и других показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Банковский А.** Обзор российского рынка впрысковых газотопливных систем 4-го поколения для инжекторных автомобилей // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2006. № 5. С. 45—49
- 2. **Зенченко В.А., Григорьев М.В.** Режимы обслуживания электронных систем управления двигателем. "Автотранспортное предприятие". 2004. № 8. С. 16—22.
- 3. Зенченко В.А. Методика формирования рациональных режимов обслуживания элементов автотранспортных средств новых моделей на начальной стадии их освоения. Вестник Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета). М.: 2006. Вып. 7. С. 15–22.
- 4. **Ким А.А., Коротков М.В.** ОАО "Газпром газэнергосеть": стратегия развития региональных газомоторных рынков // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 1. С. 40–43.
- 5. **Кубарев А.И.** Надежность в машиностроении. М.: Издательство стандартов, 1989. 224 с.
- 6. Постановление Правительства Москвы № 170 "О городской целевой программе использования альтернативных видов моторного топлива". Принят 12 марта 2002 г.
- 7. **Постановление** Правительства Москвы № 290-ПП "О расширении применения диметилового эфира и других альтернативных видов моторного топлива" от 24 апреля 2007 г. № 290-ПП "О расширении применения диметилового эфира и других альтернативных видов моторного топлива". www.mos.ru.
 - 8. Приходько М. План Б // За рулем. 2011. № 6. С. 208–209.
- 9. **Проблемы** и методы обеспечения экологической безопасности автотранспортного комплекса Московского региона // Под общ. ред. Кузнецова Е.С. и Маршалкина Г.И. Учеб. пос. МАДИ (ГТУ). М.: 1998. 147 с.
- 10. Рынок газомоторного топлива России: перспективы развития // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2011. № 1. С. 40—61.
- 11. **Сосницкий В.** Сжиженный углеводородный газ альтернативное моторное топливо // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2009. № 2. С. 21—22.
- 12. **Фролов А.** России требуется альтернативное моторное топливо // Российская газета. 2011. № 5448 (72) от 06.04.2011~г.
- 13. **Яжиньски Гжегож.** Четыре поколения газового оборудования автомобилей фирмы "ELPIGAZ" // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2003. № 6. С. 25-27.
- 14. **Automotive** liquefied petroleum gas technical reference paper. Bas Hollemans, Tim Dean. The world LPG Association, 2nd edition, June, 1996.
- 15. Clearing the Air, A Technical Guide on Autogas. Emissions, Test Methods, Standards and Technology. World LP Gas Association's Global Autogas Industry Network (GAIN), 2002, 61 p.
- 16. LPG exceptional energy/ International Systems and communications limited// September 2009 / worldlpgas.com.

AL3K

AГЗК+AT, № 6 (111) / 2016

УЛК 621.436

СМЕСЕВЫЕ БИОТОПЛИВА С ДОБАВКАМИ РАПСОВОГО И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЕЛ

В.А. Марков, д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, **С.Н. Девянин,** д-р техн. наук, **С.А. Зыков,** канд. техн. наук, МСХА им. К.А. Тимирязева

Рассмотрена возможность использования смесей нефтяного дизельного топлива с рапсовым и подсолнечным маслами в качестве топлива для дизелей. Проведен анализ физико-химических свойств исследуемых смесевых биотоплив. Представлены результаты экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С, работающего на дизельном топливе и смесевых биотопливах. Предложена методика оптимизации состава смесевых биотоплив. Проведены оптимизационные расчеты.

Ключевые слова: дизельный двигатель; нефтяное дизельное топливо; альтернативное топливо; рапсовое масло; подсолнечное масло; смесевое биотопливо; оптимизация.

BIOFUEL MIXTURES WITH RAPESEED OIL AND SUNFLOWER OIL ADDITIVES

Markov V.A., Dr. habil of technical sciences, **Devyanin S.N.**, Ph. Dr. of technical sciences, **Zykov S.A.**, Ph. D. of technical sciences

An opportunity of using oil diesel fuel with rapeseed oil and sunflower oil mixtures as a fuel for diesel engines is considered. The analysis of chemical-physical characteristics of the tested biofuel mixtures is carried out. The results of experimental research of a D-245.12S diesel engine with the engine running on diesel fuel and biofuel mixtures are demonstrated. Method of optimization of oil biofuel mixtures composition are suggested. Optimization calculations are conducted.

Keywords: diesel engine; oil diesel fuel; alternative fuel; rapeseed oil; sunflower oil; biofuel mixture; optimization.

Энергетика остается базовой отраслью экономики, на которой базируются все остальные отрасли. Энергоэффективность является одним из основных показателей, определяющих уровень конкурентоспособности национальных экономик. Ведущие промышленные страны мира принимают законодательные инициативы, стимулирующие снижение удельного энергопотребления (отнесенное к единице производимой продукции). В то же время рост промышленного производства и мирового транспортного парка неизбежно ведет к постоянному росту потребления энергии. Так, по прогнозу Службы энергетической информации США EIA (Energy Information Administration), при сохранении существующей ситуации в области энергетики общее потребление энергии в мире увеличится к 2035 г. на 49 % по сравнению с 2007 г. (рис. 1) [1].

Современная мировая энергетика базируется на трех основных энергетических ресурсах — место-

рождениях каменного угля, нефти и природного газа. Как следует из графиков на рис. 2, ископаемые топлива составляют основную часть потребляемой первичной энергии (свыше 80 %) [1]. Непрерывный рост расхода ископаемых топлив сопровожается быстрым истощением природных ресурсов, увеличением их стоимости и возникновением серьезных экологических проблем, среди которых глобальное потепление, разрушение озонового слоя, загрязнение атмосферы.

Основной сырьевой базой для производства моторных топлив остаются нефтяные месторождения, причем на эти цели расходуется более 50 % от общего количества добытой нефти [2]. Мировой объем потребления нефти значителен, однако ее разведанные и прогнозируемые запасы сравнительно невелики. Несмотря на непрекращающуюся разведку новых месторождений нефти, рост ее доказанных запасов весьма ограничен. В частности, на территории крупнейшего экспортера неф-



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

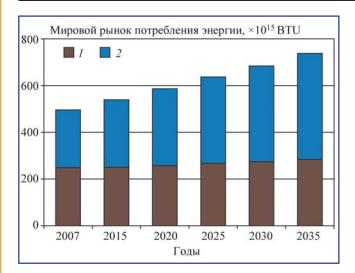
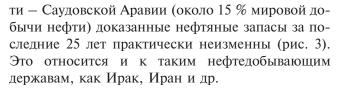


Рис. 1. Мировой рынок потребления энергии в 2007—2035 гг.:

I — страны — члены OECD (Организации экономического сотрудничества и развития — США, страны Западной Европы, Япония и др.); 2 — страны — не члены OECD; 1 BTU = 1,055 кДж



Прогнозы развития мирового топливно-энергетического комплекса свидетельствуют о том, что при современном уровне потребления энергоносителей разведанных рентабельных запасов нефти может хватить на 50—70 лет, а по более оптимистичным оценкам — от 70 до 150 лет. Но следует отметить неуклонный рост потребления нефти (рис. 4), связанный, в основном, с ростом мирового автомобильного парка. Мировой автопарк увеличился с 67 млн ед. в 1950 г. до 650 млн ед. в 2000 г.

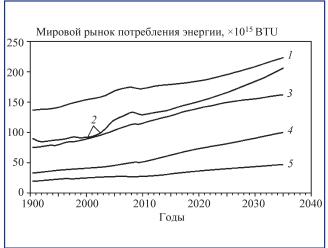


Рис. 2. Мировой рынок источников первичной энергии, 1990—2035 г.:

1 — жидкие углеродные топлива; 2 — уголь; 3 — природный газ; 4 — возобновляемые источники энергии; 5 — ядерное топливо

и до 785 млн ед. в 2008 г. Сегодня мировой парк составляет около 1 млрд автомобилей, и на его долю приходится почти половина всех вредных выбросов в атмосферу, а в крупных городах до 85—90 % [3].

При эксплуатации различных транспортных средств на территории Российской Федерации ежегодно сжигается около 110—115 млн т нефтяного моторного топлива (автомобильного бензина — 35—40 млн т, дизельного топлива — 55—60 млн т, авиационного керосина — 10—15 млн т) [2]. Как отмечено выше, основным потребителем нефтепродуктов является транспорт (прежде всего — автомобильный), но значительный объем моторных топлив потребляется сельским хозяйством. По

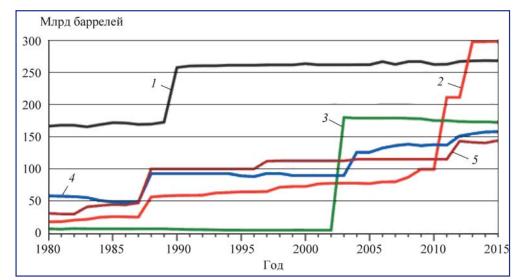


Рис. 3. Динамика изменения доказанных нефтяных запасов ведущих стран— экспортеров нефти: 1— Саудовская Аравия; 2— Венесуэла; 3— Канада; 4— Иран; 5— Ирак



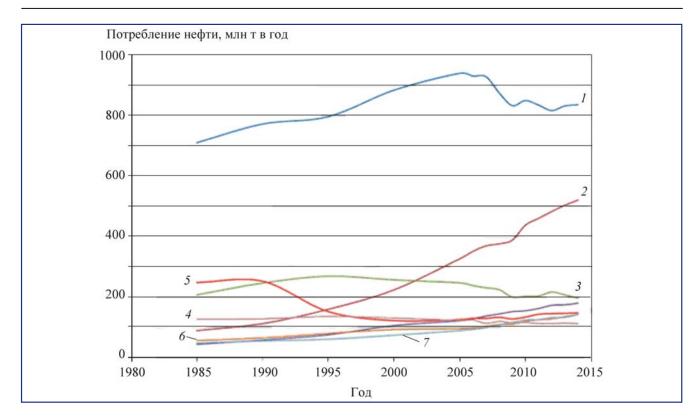


Рис. 4. Динамика потребления нефти в ведущих странах — потребителях нефтепродуктов: 1-СШA; 2-Китай; 3-Япония; 4-Индия; 5-Россия; 6-Бразилия; 7-Саудовская Аравия

данным работы [4], на долю сельскохозяйственных и лесопромышленных машин приходится 23,5 % всего потребляемого в России моторного топлива и 17,8 % выбросов вредных веществ в атмосферу.

Следует отметить, что в структуре затрат на производство сельскохозяйственной продукции доля стоимости дизельного топлива уже превышает 30 %, а в ряде случаев достигает 50 % [5]. Это обстоятельство не только приводит к нарушению технологий сельскохозяйственного производства и увеличению стоимости продуктов питания, но и сокращению посевных площадей и поголовья животных, а также ведет к разорению предприятий агропромышленного комплекса различных форм собственности. В связи с этим обстоятельством в настоящее время разрабатываются и внедряются технологии использования в сельском хозяйстве различных альтернативных топлив [6-9]. При этом наиболее перспективными представляются топлива, получаемые из возобновляемого растительного сырья. Широкомасштабное производство биотоплив из органического сырья позволит превратить сельское хозяйство из крупного потребителя нефтепродуктов в отрасль, выпускающую экологически чистое моторное топливо.

Применительно к дизельным двигателям различных транспортных средств и сельхозтехники уже нашли практическое применение топлива,

получаемые из растительных масел [4, 6, 10–12]. В частности, в 2002 г. в Великобритании на заправочные станции поступило в продажу топливо, которое представляло собой смесь нефтяного дизельного топлива (95 %) и рапсового масла (5 %). Данный вид топлива был разработан компанией Greenergy и получил название Global Diesel. В стране существует Единая ассоциация биодизельных предприятий (ВАВІ), крупнейшее из которых производит около 5 млн л топлива в год. В 2006 г. в Германии сбыт биодизельного топлива (метиловых эфиров растительных масел) составил 2,5 млн т, в том числе 1,01 млн т было использовано как примесь к нефтяному дизельному топливу и 0,5 млн т реализовано через бензоколонки для легковых и грузовых автомобилей. Кроме этого, в качестве моторного топлива был использован 1 млн т рапсового масла. В Бельгии начиная с 2006 г. рапсовое масло было допущено к заправке автомобилей, а фермерам разрешено продавать рапсовое масло для этих целей без ограничений. По данным издания Evening Standard, начиная с 2016 г. часть лондонских городских автобусов начнет работать за счет отходов пищевой промышленности. Разработанное экологичное топливо типа В-20 (смесь 20 % биотоплива и 80 % нефтяного дизельного топлива) для заправки автобусов включает в себя фритюрные масла и животный жир. Это топливо



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

прошло стадию тестирования на 640 автобусах. С марта 2016 г. 3000 из 8900 лондонских автобусов работают на этом биотопливе. Перспективность применения указанных топлив объясняется простотой и экологичностью процесса получения растительных масел, их сравнительно невысокой стоимостью и приемлемой воспламеняемостью в условиях камеры сгорания дизеля.

Государственная программа России по развитию сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013—2020 гг. предусматривает дальнейшее развитие биотехнологий — доведение к 2020 г. удельного веса отходов сельскохозяйственного производства, переработанного методами биотехнологий, до 12 % [7]. Среди этих технологий — производство моторных топлив из растительных масел.

Растительные масла как моторные топлива можно использовать как в чистом виде, так и в смеси с дизельным и другими нефтяными топливами, а также с газовыми конденсатами, спиртами, эфирами, другими нетрадиционными топливами. Применяются сложные метиловые, этиловые и бутиловые эфиры растительных масел, называемые биодизельным топливом. Проведены испытания дизелей на микроэмульсиях растительных масел и их производных со спиртами и водой, на эфирах растительных масел и их смесях с другими видами топлив, при введении парообразных производных растительных масел во впускную систему в дополнение к обычному впрыскиванию дизельного топлива. Разработаны технологии получения фракций моторного топлива с использованием крекинга растительных масел [4, 13-15].

Источником растительных масел служат масличные культуры, в разных частях которых, главным образом в семенах или плодах, содержатся растительные жиры. К масличным относится более 150 видов растений, из которых вырабатываются растительные масла. Масличные культуры содержат следующее количество растительных масел (в % на абсолютно сухое вещество): рапс — 40-50%, подсолнечник -29-57%, соя -15-26%, горчица -20-45 %, лен масличный -35-52 %, арахис -41-57 %, кунжут -50-56 % [4]. Масличные культуры занимают значительное место в сельскохозяйственном производстве, причем вырабатываются как пищевые растительные масла, так и масла, используемые для различных технических целей. Как сырьевой ресурс для производства моторных топлив наиболее значимы рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмовое, горчичное, кукурузное и др.

В последние годы рынок растительных масел отличался высоким динамизмом. К 2000 г. мировой объем их ежегодного производства достиг 80 млн т, а к 2013 г. он вырос до 150 млн т. К числу наиболее значимых растительных масел относятся рапсовое и подсолнечное масла. Их суммарное мировое производство достигло 40 млн т в год (рис. 5) [16]. Рапс выращивается в Западной и Центральной Европе (Австрии, Германии, Франции, Чехии), некоторых районах Азии (в первую очередь в Китае и Индии) и Канаде. Подсолнечник культивируют в Украине, Испании, Австрии, США, Канаде.

Российский рынок растительных масел имеет некоторые особенности. Структура производства растительного масла в России такова: на долю под-

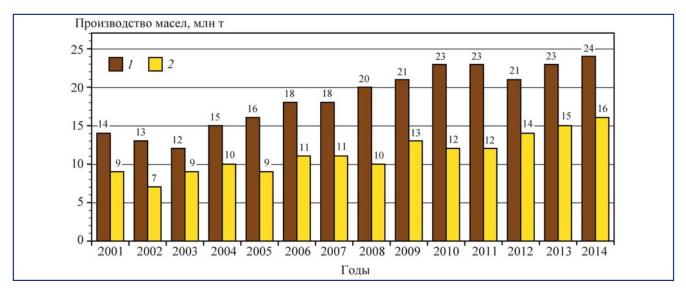


Рис. 5. Динамика мирового производства рапсового (1) и подсолнечного (2) масел

AT3K

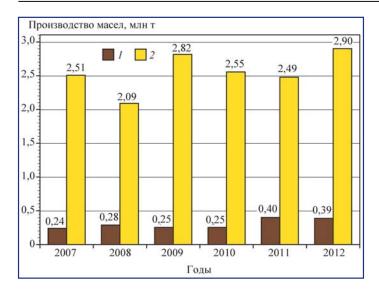


Рис. 6. Динамика производства рапсового (1) и подсолнечного (2) масел в России

солнечного масла приходится 86,84% от общего объема их производства, соевого -7,96%, рапсового -4,84%, горчичного -0,11%, остальных масел (кукурузное, льняное и др.) -0,25% [17]. Таким образом, к основным масличным культурам в России относятся подсолнечник и рапс - их суммарное производство превысило 3 млн т в год (рис. 6) [18]. Под рапс отведено более 700 тыс. га пахотных земель, под подсолнечник -6529 тыс. га [4].

Следует отметить, что использование растительных масел в качестве сырья для производства биотоплив практически не оказывает влияния на сектор их производства для пищевых целей. В настоящее время посевные площади, используемые для выращивания сырья для производства биотоплив, не превышают 0,5 % от общей площади мировых посевных площадей [19]. В качестве моторного топлива могут использоваться технические растительные масла, полученные путем экстрагирования семян масличных культур или предварительно отжатого жмыха бензином, гексаном или другими экстрагентами. Для технического использования подходят низкокачественные и просроченные растительные масла. Значительной сырьевой базой для производства биотоплив являются использованные для жарки фритюрные масла [20-22]. Масличные культуры, предназначенные для производства биотоплива, могут выращиваться на территориях, непригодных для производства продуктов питания (в районах с неблагоприятной экологической обстановкой, на участках, прилегающих к автомобильным магистралям и промышленным предприятиям).

Необходимо также отметить, что для условий сельской местности, где отсутствует инфраструктура для производства эфиров растительных масел, наиболее привлекательным способом применения растительных масел в качестве моторного топлива представляется работа дизеля на смесях нефтяного дизельного топлива (ДТ) с рапсовым или подсолнечным маслами (РМ и ПМ) с небольшим содержанием масел [23-26]. Эти компоненты хорошо смешиваются в любых пропорциях, образуя стабильные смеси. Их физико-химические и эксплуатационные характеристики достаточно близки к аналогичным характеристикам нефтяных дизельных топлив [27-30]. В связи с этим возможна работа дизелей на указанных биотопливах без существенных конструкционных изменений двигателей и их систем.

Известны отечественные и зарубежные исследования дизелей, работающих на РМ и ПМ и их смесях с нефтяным дизельным топливом [4, 6, 10, 11]. Вместе с тем недостаточно изученной является проблема оптимального состава указанных смесей, обеспечивающего наилучшие показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ). При разработке методики решения такой оптимизационной задачи и проведения оптимизационных расчетов использованы результаты испытаний дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), приведенные в работе [4]. Этот дизель производства Минского моторного завода (ММЗ) установлен на малотоннажных грузовых автомобилях ЗиЛ-5301 "Бычок", а его модификации – на автобусах Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторах "Беларусь" Минского тракторного завода (МТЗ). Некоторые параметры исследуемого дизеля приведены в табл. 1.

В дизеле Д-245.12С использована камера сгорания (КС) типа ЦНИДИ (центральный научно-исследовательский дизельный институт) и организовано объемно-пленочное (пристеночное) смесеобразование с частичным попаданием топливных струй на горячие боковые стенки КС, прилегающие к горловине (рис. 7). Это позволяет обеспечить стабильное воспламенение биотоплив (РМ, ПМ и их смесей с ДТ), отличающихся от нефтяного ДТ несколько худшей воспламеняемостью (пониженным цетановым числом).

В указанных испытаниях дизеля типа Д-245.12С исследованы смеси ДТ, РМ и ПМ. Целью исследований являлась оценка показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизеля при его работе на смесевых биотопливах различного состава. На первом этапе дизель был испытан на ДТ



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Таблица 1

Параметры дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5)

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра, мм	110
Ход поршня, мм	125
Общий рабочий объем, л	4,32
Степень сжатия	16,0
Система турбонаддува	Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов
Номинальная частота вращения, мин-1	2400
Номинальная мощность, кВт	80
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа <i>PP4M10U1f</i> фирмы <i>Motorpal</i> с всережимным центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД, мм	10
Ход плунжеров ТНВД, мм	10
Длина нагнетательных топливопроводов, мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО "Куроаппаратура" (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы <i>Motorpal</i> типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_{\rm p}$ = 0,34 мм и проходным сечением $\mu_{\rm p}f_{\rm p}$ = 0,250 мм ²
Давление начала впрыскивания форсунок, МПа	21,5

марки "Л" по ГОСТ 305-82 и на смесях ДТ и РМ с содержанием последнего от 0 до 60 % (объемное содержание РМ). Свойства этих топлив представлены в табл. 2.

Дизель типа Д-245.12С исследовался на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) и 13-режимного испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН (цикл ЕСЕ R49) с установочным углом

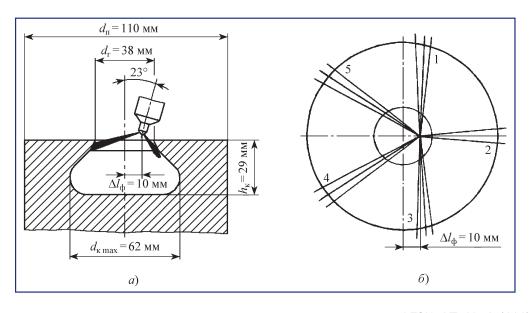


Рис. 7. Камера сгорания дизеля типа Д-245.12С со схемой расположения форсунки (а) и ориентация струй распыливаемого топлива в КС (б): 1, 2, 3, 4, 5— номера струй распыливаемого топлива



Таблица 2

Физико-химические свойства нефтяного ДТ и смесей ДТ и РМ

Физико-химические	Топлива				
свойства	ДТ	PM	80 % ДТ + 20 % PM	60 % ДТ + 40 % PM	40 % ДТ + 60 % PM
Плотность при 20 °C, кг/м ³	830	916	848	865	882
Вязкость кинематическая при 20 °C, мм²/с	3,8	75,0	9,0	19,0	30,0
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °C, мН/м	27,1	33,2	-	-	-
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	41 500	40 400	39 400
Цетановое число	45	36	_	_	_
Температура самовоспламенения, ° С	250	318	-	-	-
Температура помутнения, ° С	-25	-9	-	_	_
Температура застывания, ° С	-35	-20	-	_	-
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	14,0	13,6	13,2
Содержание, % по массе:					
С	87,0	77,0	85,0	83,0	81,0
Н	12,6	12,0	12,5	12,4	12,2
О	0,4	11,0	2,5	4,6	6,8
Примечание: "-" - свойства не определялись.					

опережения впрыскивания топлива (УОВТ) $\theta = 13^{\circ}$ поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (п.к.в. до ВМТ) и неизменным положением упора дозирующей рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД). Дымность ОГ измерялась дымомером типа МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью ±1 %. Концентрации NO_x, CO, CH_x в ОГ определялись газоанализатором SAE-7532 японской фирмы Yanaco с погрешностью ±1 %. Сначала дизель типа Д-245.12С был испытан на режимах ВСХ на нефтяном ДТ и смесевом биотопливе, содержащем 80 % ДТ (по объему) и 20 % РМ. Результаты этих испытаний приведены на рис. 8 и в табл. 3. Дальнейшие испытания этой смеси проведены на режимах 13-режимного цикла ЕСЕ R49, реализованных на указанном дизеле. Режимы этого цикла показаны на рис. 9, а результаты исследований дизеля на этих режимах представлены на рис. 10 и в табл. 3.

По приведенным на рис. 10, δ – ϵ характеристикам содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксидов азота NO, монооксида углерода СО, несгоревших углеводородов СН_х) с использованием общепринятых методик рассчитаны их интегральные удельные массовые выбросы на режимах 13-режимного цикла (соответственно $e_{\mathrm{NO_{v}}}$, e_{CO} , $e_{\mathrm{CH_{v}}}$). При оценке интегральной токсичности ОГ двигателя на режимах такого цикла на каждом режиме определяются концентрации в ОГ токсичных компонентов (C_{NO_v} , C_{CO} , C_{CH_v} , C_{TY}) и рассчитываются их часовые массовые выбросы $(E_{NO_{\nu}}, E_{CO}, E_{CH_{\nu}}, E_{TY})$. Полученные значения вредных выбросов суммировались за весь цикл по каждому компоненту (с учетом весовых коэффициентов K_i , отражающих долю времени каждого режима) и затем делением на условную среднюю мощность дизеля за испытательный цикл $\Sigma(N_{ei}K_i)$ опре-



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

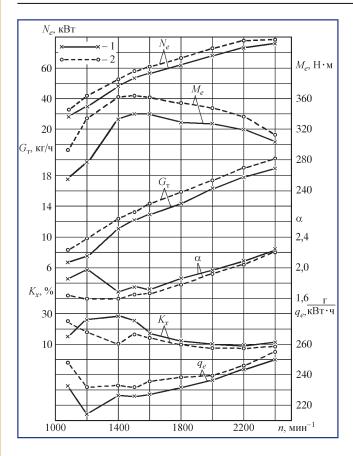


Рис. 8. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_m , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_X и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля типа \mathcal{L} -245.12C на режимах BCX:

1 - ДТ; 2 -смесь 80 % ДТ и 20 % РМ

делялись удельные массовые выбросы вредных веществ по формулам [3, 4]:

$$e_{\text{NO}_{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{\text{NO}_{xi}} K_{i}}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_{i}}, \qquad e_{\text{CO}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{\text{CO}_{i}} K_{i}}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_{i}},$$

$$e_{\text{CH}_{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{\text{CH}_{xi}} K_{i}}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_{i}}. \qquad e_{\text{TY}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{\text{TY}} K_{i}}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_{i}}. \qquad (1)$$

С использованием представленных на рис. 10, a характеристик часового расхода топлива $G_{\scriptscriptstyle T}$ определены значения удельного эффективного расхода топлива $g_{\scriptscriptstyle e}$ и эффективного КПД $\eta_{\scriptscriptstyle e}$ по зависимостям [3, 4]

$$g_e = \frac{1000G_{_{\rm T}}}{N_{_e}}; \ \eta_e = \frac{3600}{H_{_{II}}g_{_e}},$$
 (2)

где H_U — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг. Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-режимного цикла проведена по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [3, 4]

$$g_{e \text{ yc}\pi} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{\pi i} K_{i}}{\sum_{i=1}^{13} N_{e i} K_{i}},$$
 (3)

где $G_{\tau i}$ — часовой расход топлива на i-м режиме. Для оценки топливной экономичности дизеля, работающего на смесевых биотопливах, желательно использовать эффективный КПД дизеля η_e . Причем для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-режимного цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения [3, 4]

$$\eta_{e \text{ yc.}\pi} = \frac{3600}{H_{II} g_{e \text{ yc.}\pi}}.$$
 (4)

Результаты расчетов, проведенных по изложенной методике, представлены в табл. 3. Приведен-

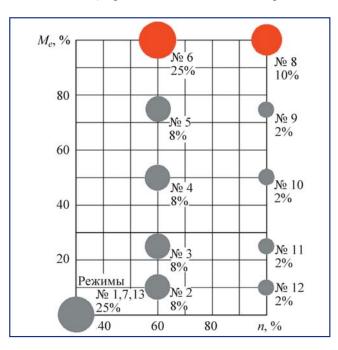


Рис. 9. Испытательный 13-режимный цикл ЕСЕ R49 для оценки токсичности ОГ дизелей в стендовых условиях (около точки каждого режима указаны номер режима и доля этого режима в общем объеме времени работы, красным цветом выделены режимы максимальной мощности — режим № 8 и максимального крутящего момента — режим № 6)



ISSN 2073-8323

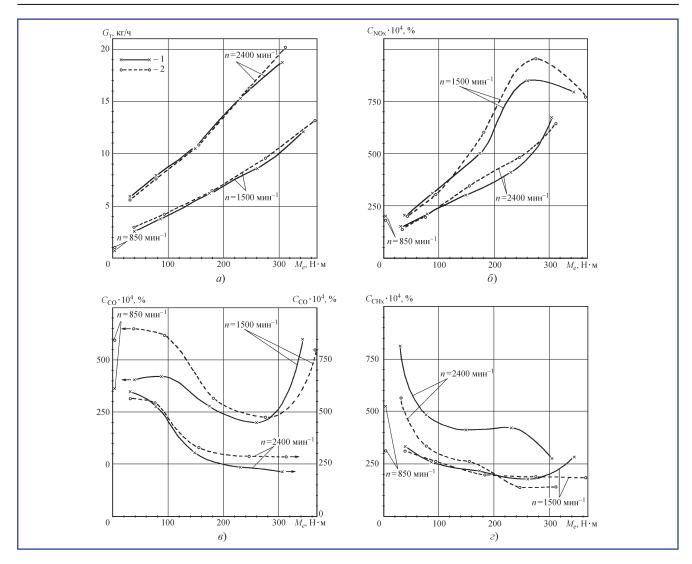


Рис. 10. Зависимость часового расхода топлива G_m (a), объемных концентраций в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводородов C_{CH_x} (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля типа \mathcal{L} -245.12C:

1-ДТ; 2- смесь 80 % ДТ и 20 % РМ

 $\it Tаблица~3$ Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смесях нефтяного ДТ и РМ

	Объемное содержание РМ в смеси с ДТ, %			
Показатели дизеля	0	20	40	60
Часовой расход топлива $G_{\scriptscriptstyle \rm T}$, кг/ч:				
на режиме максимальной мощности	18,81	19,94	20,30	20,70
на режиме максимального крутящего момента	12,10	13,24	13,71	13,73
Крутящий момент M_e , Нм:				
на режиме максимальной мощности	301	311	313	311
на режиме максимального крутящего момента	341	364	364	360
Дымность ОГ K_X , % по шкале Хартриджа:				
на режиме максимальной мощности	11,0	8,0	7,0	8,0
на режиме максимального крутящего момента	25,0	16,5	13,0	11,0



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Окончание табл. 3

T.	Объемное содержание РМ в смеси с ДТ, %			
Показатели дизеля	0	20	40	60
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(к B т·ч):				
на режиме максимальной мощности	249,0	255,1	258,1	265,1
на режиме максимального крутящего момента	225,8	231,8	239,8	243,1
Эффективный КПД дизеля η_e :				
на режиме максимальной мощности	0,340	0,340	0,345	0,345
на режиме максимального крутящего момента	0,375	0,374	0,372	0,376
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла:				
эффективный расход топлива $g_{e \text{ усл}}$, г/(к B т·ч)	247,20	254,38	259,40	272,23
эффективный КПД $\eta_{e\ m ycn}$	0,343	0,341	0,343	0,336
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч):				
оксиды азота $e_{_{\mathrm{NO}_{x}}}$	7,442	7,159	7,031	6,597
монооксид углерода e_{CO}	3,482	3,814	3,880	3,772
несгоревшие углеводороды e_{CH_x}	1,519	0,965	0,949	1,075

ные в ней данные подтверждают возможность заметного улучшения экологических показателей дизеля типа Д-245.12С при его переводе с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % РМ. Вместе с тем определенный интерес представляет вопрос о влиянии состава смесевого биотоплива на характеристики дизеля. С этой целью проведены исследования указанного дизеля на чистом ДТ и смесевом биотопливе, содержащем от 20 до 60 % РМ. Результаты этих исследований представлены на рис. 11 и рис. 12 и сведены в табл. 3.

На втором этапе испытаний исследована работа дизеля типа Д-245.12С на чистом ДТ марки "Л" по ГОСТ 305-82 и на смесях ДТ и ПМ с содержанием последнего от 0 до 20 % (объемное содержанием ПМ). Свойства этих топлив представлены в табл. 4.

При испытаниях дизеля типа Д-245.12С на режимах ВСХ на нефтяном ДТ и на смеси 80 % ДТ и 20 % ПМ получены результаты, показанные на рис. 13 и в табл. 5. Параметры этого дизеля на режимах 13-режимного цикла ЕСЕ R49 представлены на рис. 14 и в табл. 5.

Кроме представленных экспериментальных данных по дизелю типа Д-245.12С, работающему на смеси 80 % ДТ и 20 % ПМ, проведены его исследования и на смесях ДТ и ПМ другого состава. Результаты этих исследований приведены в табл. 5 и на рис. 15 и 16.

Проведенные экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С на смесях нефтяного ДТ с рапсовым и подсолнечным маслами подтвердили

возможность значительного улучшения экологических показателей дизеля, а также целесообразность оптимизации состава указанных смесевых биотоплив. Проведенный анализ показал, что задача выбора оптимального состава смесевого биотоплива достаточно сложна и не имеет однозначного решения. Это обусловлено тем, что работа дизеля характеризуется целым комплексом показателей (критериев) топливной экономичности и токсичности ОГ. Требования к выбору оптимального по данным критериям состава топлива часто противоречат друг другу. В результате задача выбора оптимального состава смесевого биотоплива становится многокритериальной оптимизационной задачей [3, 4, 31].

Известны различные методики решения многокритериальных задач оптимизации, которые классифицируются в зависимости числа оптимизируемых параметров, количества критериев оптимальности, особенностей их задания и определения степени их значимости. Наиболее известными методиками являются оптимизация иерархической последовательности частных критериев, определение решения, основанное на том или ином виде компромисса, определение множества неулучшаемых точек [3, 31]. Разработаны и методики многокритериальной оптимизации различных параметров ДВС. Применительно к задаче оптимизации состава смесевых топлив можно использовать методики, приведенные в работах [32-34]. Они основаны на одном из наиболее эффективных методов

AT3K

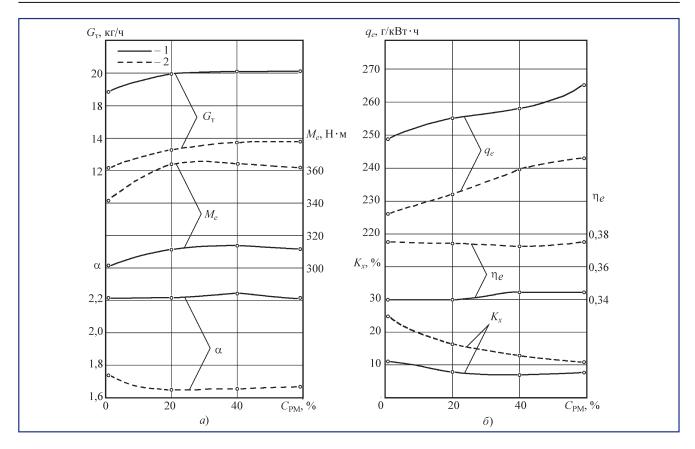
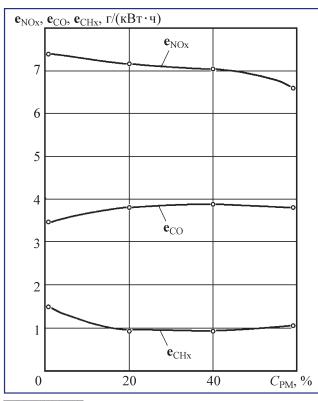


Рис. 11. Зависимость часового расхода топлива G_m , крутящего момента M_e , коэффициента избытка воздуха α . (a), удельного эффективного расхода топлива g_e , эффективного КПД η_e и дымности ОГ K_X (б) дизеля Д-245.12C от содержания рапсового масла C_{PM} в смесевом биотопливе на режимах BCX:

I — на режиме максимальной мощности при $n=2400~{
m Muh}^{-1};\ 2$ — на режиме максимального крутящего момента при $n=1500~{
m Muh}^{-1}$



оптимизации — метод свертки, при котором обобщенный критерий оптимальности формируется в виде суммы частных критериев. В частности, в работе [32] предложена методика оптимизации состава смесевого биотоплива — смесей нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом, построенная на составлении обобщенного аддитивного критерия оптимальности (целевой функции) в виде суммы

$$J_{\rm o} = a_{\rm \eta_e} J_{\rm \eta_e} + a_{\rm NO_x} J_{\rm NO_x} + a_{\rm CO} J_{\rm CO} + a_{\rm CH_x} J_{\rm CH_x} \,, \eqno(5)$$
 где $J_{\rm \eta_e}$, $J_{\rm NO_x}$, $J_{\rm CO}$, $J_{\rm CH_x}$ — частные критерии оптимальности соответственно по топливной экономичности (эффективному КПД η_e), выбросам ${\rm NO_x}$, ${\rm CO}$, ${\rm CH_x}$; $a_{\rm \eta_e}$, $a_{\rm NO_x}$, $a_{\rm CO}$, $a_{\rm CH_x}$ — весовые коэффициенты частных критериев оптимальности. Ча-

Рис. 12. Зависимость удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NOx} , монооксида углерода e_{CO} и несгоревших углеводородов e_{CH_x} с ОГ дизеля типа Д-245.12С от содержания рапсового масла C_{PM} в смесевом биотопливе на режимах 13-режимного цикла

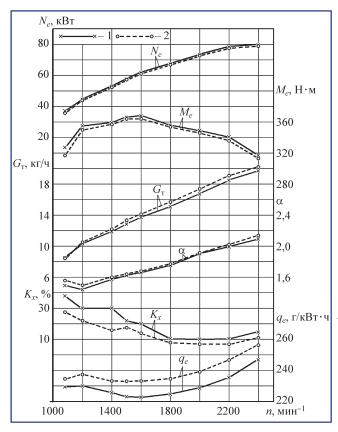


АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Таблица 4

Физико-химические свойства нефтяного ДТ и смесей ДТ и ПМ

	Топлива					
Физико-химические свойства	ДТ	ПМ	95 % ДТ + 5 % ПМ	90 % ДТ + 10 % ПМ	80 % ДТ + 20 % ПМ	
Плотность при 20 °C, кг/м ³	830	923	834,7	839,3	848,6	
Вязкость кинематическая при 20 °C, мм²/с	3,8	72,0	5,0	6,0	8,0	
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °C, мН/м	27,1	33,0	-	-	_	
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42500	37000	42100	41900	41400	
Цетановое число	45	33	_	_	_	
Температура самовоспламенения, ° С	250	320	-	-	_	
Температура помутнения, ° С	-25	- 7	_	_	_	
Температура застывания, ° С	-35	-18	-	_	_	
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг	14,3	12,4	14,2	14,1	13,9	
Содержание, % по массе:						
С	87,0	77,6	86,5	86,1	85,1	
Н	12,6	11,5	12,5	12,5	12,4	
0	0,4	10,9	1,0	1,4	2,5	
Примечание: "-" - свойства не определялись.						



стные критерии оптимальности, входящие в выражение (5), предлагается определять на каждом i-м режиме из соотношений

$$\begin{split} J_{\eta_{e}} &= \eta_{e \, \text{\tiny AT}} \, / \, \eta_{e \, i} \, ; \\ J_{\text{NO}_{x}} &= e_{\text{NO}_{x \, i}} \, / \, e_{\text{NO}_{x \, \pi}} \, ; \\ J_{\text{CO}} &= e_{\text{CO}_{i}} \, / \, e_{\text{CO}_{\pi \, r}} \, ; \\ J_{\text{CH}_{x}} &= e_{\text{CH}_{x \, i}} \, / \, e_{\text{CH}_{x \, \pi \, r}} \, , \end{split} \tag{6}$$

где $\eta_{e\,i}$, $e_{{\rm NO}_{\chi i}}$, $e_{{\rm CO}_i}$, $e_{{\rm CH}_{\chi i}}$ — параметры дизеля, работающего на i-м топливе; $\eta_{e\,{}_{\rm Л}}$, $e_{{\rm NO}_{\chi \pi}}$, $e_{{\rm CO}_{\pi}}$, $e_{{\rm CH}_{\chi \pi}}$ — параметры дизеля, работающего на нефтяном ДТ. При решении оптимизационной задачи с использованием формулы (5) обобщенный критерий оптимальности $J_{\rm o}$ минимизируется. При

Рис. 13. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , расхода топлива G_m , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_X и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля типа \mathcal{L} -245.12C на режимах BCX: $1-\mathcal{L}$ T; $2-\mathbf{cmecb}$ 80 % \mathcal{L} T и 20 % \mathcal{L} M



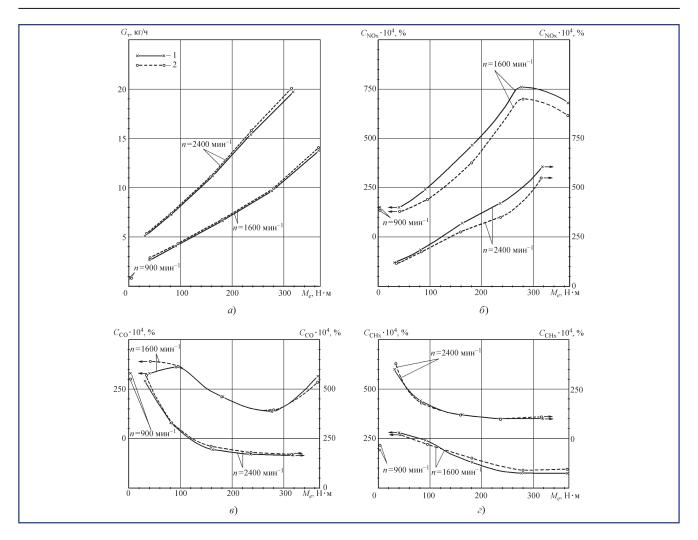


Рис. 14. Зависимость часового расхода топлива G_m (а), объемных концентраций в ОГ оксидов азота $C_{\text{NO}_{\chi}}$ (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводородов $C_{\text{CH}_{\chi}}$ (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля типа Π -245.12C:

1-ДТ; 2- смесь 80 % ДТ и 20 % ПМ

этом удельные массовые выбросы токсичных компонентов ОГ $e_{{
m NO}_{x_i}},\,e_{{
m CO}_i},\,e_{{
m CH}_{x_i}}$ (числители выражений для частных критериев $J_{{
m NO}_x},\,J_{{
m CO}},\,J_{{
m CH}_x})$ минимизируются, а эффективный КПД $\eta_{e\,i}$ (знаменатель выражения для частного критерия J_{η_e}) — максимизируется.

Наиболее сложной проблемой использования этой методики является выбор значений весовых коэффициентов частных критериев оптимальности, который не имеет однозначного решения. Еще один недостаток данной методики заключается в том, что не учитывается такой важный показатель работы дизеля, как дымность ОГ. Следует также отметить и трудоемкость использования этой методики, обусловленную необходимостью расчетов сразу четырех частных критериев и их суммы — обобщенного критерия. Причем каждый из частных критериев формулы (5) вычисляется как результат суммирования данных по соответствую-

щим показателям на тринадцати режимах (в публикации [32] рассматривается работа дизеля на режимах 13-режимного цикла норм ЕСЕ R49). При оценке интегральной токсичности ОГ двигателя на режимах такого цикла проводится достаточно трудоемкий расчет удельных массовых выбросов вредных веществ по формулам (1).

С целью устранения указанных недостатков рассмотренной методики для оптимизации состава смесевых биотоплив предлагается использовать следующую методику. Во-первых, желательно сократить число частных критериев оптимальности выражения (5). При этом выше отмечена сравнительно слабая зависимость эффективного КПД η_e исследуемого дизеля типа Д-245.12C от состава смесей нефтяного ДТ с РМ (см. рис. 11, δ) и ПМ (см. рис. 15, δ). Следует также отметить, что в связи с поэтапным введением все более жестких норм на выбросы вредных веществ с ОГ дизелей транспортного и автотракторного назначения и необхо-



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

 $\it Tаблица~5$ Показатели дизеля типа Д-245.12C, работающего на смесях нефтяного ДТ и ПМ

	Объемное содержание ПМ в смеси с ДТ, %					
Показатели дизеля	0	5	10	20		
Часовой расход топлива $G_{\scriptscriptstyle T}$, кг/ч:						
на режиме максимальной мощности	19,70	19,78	19,96	20,20		
на режиме максимального крутящего момента	13,72	13,84	13,97	14,10		
Крутящий момент M_e , Н·м:						
на режиме максимальной мощности	317	318	316	313		
на режиме максимального крутящего момента	368	368	367	364		
Дымность ОГ K_{χ} , % по шкале Хартриджа:						
на режиме максимальной мощности	14,5	12,5	12,0	11,0		
на режиме максимального крутящего момента	20,0	16,5	15,0	14,0		
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(к B т·ч):						
на режиме максимальной мощности	246,8	248,1	251,3	256,2		
на режиме максимального крутящего момента	222,6	224,6	226,9	231,1		
Эффективный КПД дизеля η_e :						
на режиме максимальной мощности	0,343	0,345	0,342	0,339		
на режиме максимального крутящего момента	0,381	0,386	0,379	0,376		
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла:						
эффективный расход топлива $g_{ m eyen},$ г/(к $ m B T \cdot Y$)	230,52	245,91	246,09	248,94		
эффективный КПД $\eta_{ m eycn}$	0,367	0,353	0,349	0,349		
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч):						
оксиды азота $e_{{ m NO}_{ m x}}$	6,630	6,626	6,649	6,078		
монооксид углерода е _{со}	2,210	2,146	2,091	2,257		
несгоревшие углеводороды $e_{\mathrm{CH}_{x}}$	0,580	0,563	0,580	0,647		

димостью выполнения ограничений на токсичность их ОГ экологические показатели ДВС становятся приоритетными. Поэтому реализация мероприятий по снижению токсичных выбросов зачастую сопровождается ухудшением показателей топливной экономичности. При оптимизации состава смесевых биотоплив указанные факторы позволяют не учитывать частный критерий, характеризующий топливную экономичность исследуемого дизеля. Во-вторых, известно, что из газообразных нормируемых токсичных компонентов ОГ дизелей наиболее значимыми являются оксиды азота NO. Их доля в суммарных токсичных выбросах дизелей составляет от 30 до 80 % по массе и от 60 до 95 % по эквивалентной токсичности [3]. Другим важнейшим токсичным компонентом ОГ дизелей считаются твердые частицы (выброс сажи или дымность ОГ). Высокая потенциальная опасность этих частиц обусловлена их способностью аккумулировать на своей поверхности многие известные канцерогены и мутагены, а также незначительными размерами частиц, способствующими их проникновению в органы дыхания человека и накапливанию в них. Еще два нормируемых токсичных компонента – монооксид углерода СО и легкие несгоревшие углеводороды СН имеют значительно меньшую токсикологическую значимость. Так, в соответствии с данными работ [3] токсикологическая значимость CO, NO_x, CH_x, твердых частиц и оксидов серы SO_х оценивается как отношение 1:41,1:3,16:200:22. Кроме того, выброс СО и СН, значительно снижается при использовании средств очистки ОГ (установкой нейтрализаторов). При формировании обобщенного критерия оптимальности указанные факторы позволяют использовать всего два основных частных критерия эмиссию оксидов азота и твердых частиц (или дымность $O\Gamma$).

AT3K

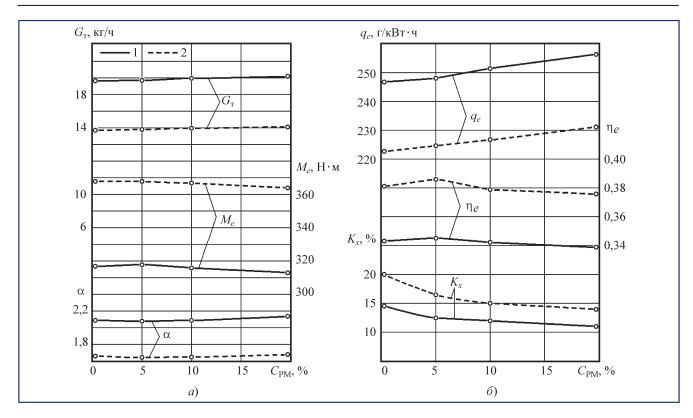


Рис. 15. Зависимость часового расхода топлива G_m , крутящего момента M_e , коэффициента избытка воздуха α . (a), удельного эффективного расхода топлива g_e , эффективного КПД η_e и дымности ОГ K_X (б) дизеля Д-245.12C от содержания подсолнечного масла $C_{\Pi M}$ в смесевом биотопливе на режимах BCX:

I — на режиме максимальной мощности при $n=2400~{
m Muh}^{-1};\ 2$ — на режиме максимального крутящего момента при $n=1600~{
m Muh}^{-1}$

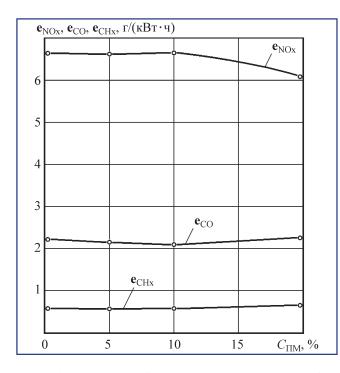


Рис. 16. Зависимость удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NOx} , монооксида углерода e_{CO} и несгоревших углеводородов e_{CH_x} с ОГ дизеля типа Д-245.12С от содержания подсолнечного масла C_{IIM} в смесевом биотопливе на режимах 13-режимного цикла

Необходимо отметить, что определение концентрации в ОГ дизелей твердых частиц $C_{\text{тч}}$ является достаточно сложной и трудоемкой технической задачей. При этом используется дорогостоящее оборудование (тоннель), которое имеется лишь в нескольких исследовательских центрах России. Значительно проще и доступнее определение дымности ОГ с использованием недорогих и распространенных дымомеров. При этом известно, что на режимах работы дизеля с низкими коэффициентами избытка воздуха ($\alpha < 1,2-1,3$) сажа составляет большую часть массы твердых частиц (до 95-98 %). В целом фракционный состав твердых частиц выглядит следующим образом: углеродная фракция (среднее содержание – 75 %, диапазон значений -33-90 %), органическая фракция (19 %, 7-49 %), сульфаты, нитраты (1 %, 1-4%), металлы и другие элементы (2 %, 1-5%), прочее (3 %, 1–10 %) [35]. Это позволяет использовать зависимости, практически однозначно (с высоким коэффициентом корреляции) связывающие эмиссию твердых частиц и дымность ОГ. В связи с этим в предлагаемой методике оптимизации состава смесевого биотоплива в качестве двух основных частных критериев оптимизации приня-



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

ты концентрации в ОГ оксидов азота и сажи (дымность ОГ).

При оценке токсичности ОГ дизелей используются испытательные циклы, в той или иной мере отражающие реальные распределения режимов работы двигателей. В Европе дизели грузовых автомобилей грузоподъемностью более 3,5 т (для автобусов с числом посадочных мест свыше 9) до 2000 г. испытывались в стендовых условиях на установившихся режимах, соответствующих режимам 13-режимного цикла ECE R49 (рис. 9). Этот испытательный цикл включает 13 установившихся режимов: три режима холостого хода с минимальной частотой вращения $n = 0.25 - 0.3 n_{\text{ном}}$ (всего 25 % времени работы), пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100 % нагрузки) при номинальной частоте вращения $n_{\text{ном}}$ и пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100 % нагрузки) при частоте вращения $n_{M \, {\rm max}} = 0,6-0,7 n_{{
m Hom}},$ соответствующей максимальному крутящему моменту двигателя. Доля режима максимальной мощности (номинального режима – режим № 8 на рис. 9) составляет 10 % от общего времени работы двигателя, а доля режима максимального крутящего момента (режим № 6 на рис. 9) -25%.

В соответствии с ГОСТ 17.2.2.01-84 - "Дымность отработавших газов дизелей" и Правилами ЕЭК R 24-02 ООН дымность ОГ определяется только на режимах внешней скоростной характеристики. При этом наиболее важными режимами также являются режим максимальной мощности и режим максимального крутящего момента. В испытательном цикле на рис. 9 режим холостого хода при минимальной частоте вращения (режимы № 1, 7, 13) имеет существенную значимость (доля этого режима составляет 25 % от общего времени работы). Но поскольку расход ОГ на этом режиме значительно меньше, чем на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента, то и массовый выброс токсичных компонентов ОГ сравнительно невелик. Кроме того, дымность ОГ на этом режиме незначительна и не нормируется стандартами на токсичность ОГ.

С учетом изложенных факторов для решения задачи оптимизации состава смесевого биотоплива для дизеля типа Д-245.12С предлагается использовать метод свертки, при котором частные критерии оптимальности сводятся к обобщенному критерию $J_{\rm o}$, определяемому в виде суммы основных частных критериев, характеризующих концентрацию в ОГ оксидов азота $J_{\rm NO_x}$ и дымность ОГ по шкале Хартриджа J_{K_x} , в соответствии с выражением

$$J_{o} = J_{NO} + J_{K_{v}}. \tag{7}$$

Проведенный выше анализ показал, что при оптимизации состава смесевого топлива в первую очередь целесообразно учитывать принятые основные показатели токсичности ОГ на двух основных режимах — максимальной мощности $N_{\rm max}$ и максимального крутящего момента $M_{\rm max}$. Тогда выражение (7) принимает вид

$$J_{o} = J_{NO_{v}N_{max}} + J_{NO_{v}M_{max}} + J_{K_{v}N_{max}} + J_{K_{v}M_{max}}, \quad (8)$$

где $J_{NO_xN_{\max}}$, $J_{NO_xM_{\max}}$, $J_{K_xN_{\max}}$, $J_{K_xM_{\max}}$ — частные критерии оптимальности (концентрация в ОГ оксидов азота и дымность ОГ по шкале Хартриджа) на указанных режимах.

Поскольку в предлагаемой методике в качестве частных критериев оптимальности выражения (8) использованы концентрация в ОГ оксидов азота C_{NO_x} и дымность ОГ по шкале Хартриджа K_x , имеющие различную размерность, целесообразно их использование в относительных величинах в следующем виде:

$$\begin{split} J_{NO_xN_{\max}} &= C_{NO_xN_{\max i}} / C_{NO_xN_{\max }, \pi \tau}; \\ J_{NO_xM_{\max}} &= C_{NO_xM_{\max i}} / C_{NO_xM_{\max }, \pi \tau}; \\ J_{K_XN_{\max}} &= K_{XN_{\max i}} / K_{XN_{\max }, \pi \tau}; \\ J_{K_XM_{\max}} &= K_{XM_{\max i}} / K_{XM_{\max }, \pi \tau}, \end{split}$$
(9)

где параметры с индексом "ДТ" соответствуют работе на нефтяном дизельном топливе, а параметры с индексом "i" — работе на смесевом биотопливе i-го состава. Обобщенный критерий оптимальности (8) также удобно использовать в относительном виде:

$$\bar{J}_{o} = J_{oi} / J_{oat}. \qquad (10)$$

Таким образом, предложенная методика оптимизации смесевого биотоплива предполагает формирование обобщенного аддитивного критерия оптимальности в виде (8) или (10). Минимум этого обобщенного критерия соответствует оптимальному составу смесевого биотоплива. При этом частные критерии оптимизации, характеризующие концентрацию в ОГ оксидов азота $J_{\scriptscriptstyle{\mathrm{NO}_{\circ}}}$ и дымность ОГ по шкале Хартриджа $J_{K_{\scriptscriptstyle Y}}$ на двух основных режимах — максимальной мощности N_{max} и максимального крутящего момента M_{max} , определяются по выражениям (9). Эта методика не предполагает ранжирования (определения значимости) этих частных критериев оптимальности путем задания соответствующих весовых коэффициентов, как это принято в выражении (5). Кроме того, эта методика отличается от методики (5) существенно меньшим объемом вычислений.

AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016



Таблица 6

Оптимизация состава смесей не	фтяного лизельного топлива с	растительными маслами для дизс	еля типа Л-245.12С
On initial cociaba chiccen ne	WIMHOLD ANSCHDING TOURINDA C	растительными маслами для диз	ли ини д-245.120

		Показатели дизеля								
Вид топлива	$C_{_{\mathrm{NO}_{x}N_{\mathrm{max}}}}, \\ \mathrm{ppm}$	$J_{{_{\mathrm{NO}_{x}N_{\mathrm{max}}}}}$	$C_{NO_x M_{max}}$, ppm	$J_{{_{\mathrm{NO}_x M_{\mathrm{max}}}}}$	$K_{XN_{\max}}$, %	$J_{{K_X}{N_{ m max}}}$	$K_{XM_{\text{max}}}$, %	$J_{{\scriptscriptstyle K_X M_{ m max}}}$	J_{\circ}	$ar{J}_{ ext{o}}$
Смеси нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом										
ДТ	675	1,000	800	1,000	11,0	1,000	25,0	1,000	4,000	1,000
80 % ДТ+ + 20 % РМ	650	0,963	770	0,963	8,0	0,727	16,5	0,660	3,313	0,828
60 % ДТ + + 40 % РМ	640	0,948	750	0,938	7,0	0,636	13,0	0,520	3,042	0,761
40 % ДТ + + 60 % РМ	550	0,815	770	0,963	8,0	0,727	11,0	0,440	2,945	0,736
Смеси нефтяного дизельного топлива с подсолнечным маслом										
ДТ	605	1,000	680	1,000	14,5	1,000	20,0	1,000	4,000	1,000
95% ДТ+ + 5% ПМ	600	0,992	685	1,007	12,5	0,862	16,5	0,825	3,686	0,922
90 % ДТ + + 10 % ПМ	580	0,959	675	0,993	12,0	0,828	15,0	0,750	3,530	0,883
80 % ДТ+ + 20 % ПМ	550	0,909	615	0,904	11,0	0,759	14,0	0,700	3,272	0,818

Предложенная методика использована для оптимизации состава смесей нефтяного ДТ с рапсовым и подсолнечным маслами для дизеля типа Д-245.12С. При этом использованы представленные выше экспериментальные данные по дизелю Д-245.12С, работающему на смесях ДТ с РМ и ПМ. Результаты вычислений частных критериев оптимальности по выражениям (9) и обобщенного критерия оптимальности по формулам (8) и (10) приведены в табл. 6.

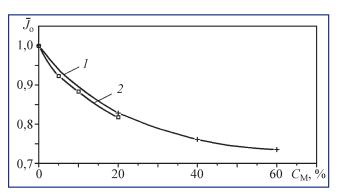


Рис. 17. Зависимость обобщенного критерия оптимальности $\bar{J}_{\rm o}$ от содержания растительных масел в смесях с нефтяным дизельным топливом C_M : I — смесь нефтяного ДТ и РМ; 2 — смесь нефтяного ДТ и ПМ

Полученные результаты оптимизации свидетельствуют о том, что для дизеля типа Д-245.12С, работающего на смесевых биотопливах, при росте содержания рассматриваемых масел в смеси с нефтяным ДТ значения обобщенного критерия оптимальности J_{\circ} монотонно уменьшаются. Оптимальное в соответствии с выражениями (8) и (10) содержание растительных масел в указанных смесях соответствует максимальному (в рассматриваемом диапазоне) содержанию растительного масла. Для смесей нефтяного ДТ с РМ минимум обобщенного критерия оптимальности ($\bar{J}_{0} = 0.736$) приходится на содержание РМ в смеси с ДТ, равное $C_{\rm M} = 60$ %. Для смесей нефтяного ДТ с ПМ этот минимум ($\bar{J}_{\rm o} = 0.818$) отмечен при $C_{\rm M} = 20$ %. При работе на нефтяном ДТ обобщенный критерий оптимальности равен единице (см. табл. 6 и рис. 17). По рис. 17 необходимо также отметить очень небольшие различия значений обобщенного критерия оптимальности \bar{J}_{o} для смесей ДТ с РМ и с ПМ, т.е. близкий характер протекания двух рассматриваемых характеристик $\bar{J}_{o} = f(C_{\rm M})$, что подтверждает близкие экологические качества этих двух видов растительных масел. Обращает на себя внимание и тот факт, что по мере увеличения содержания рас-



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

тительного масла в смеси с нефтяным ДТ обобщенный критерий оптимальности $\bar{J}_{\rm o}$ постоянно снижается, но его снижение наиболее заметно при небольшом содержании масла в смесевом биотопливе (см. рис. 17). Это свидетельствует о том, что даже небольшая добавка растительного масла в нефтяное ДТ значительно улучшает показатели токсичности ОГ исследуемого дизеля.

В целом проведенные расчетно-экспериментальные исследования подтвердили эффективность использования предложенной методики оптимизации состава рассматриваемых смесевых биотоплив — смесей нефтяного ДТ с рапсовым и подсолнечным маслами, информативность методики при оценке экологических качеств различных топлив и сравнительно небольшой объем расчетных исследований. Следует также отметить, что эта методика оптимизации может быть использована и при оптимизации состава других смесевых топлив, включая многокомпонентные биотоплива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Каменев В.Ф., Шатров М.Г., Теренченко А.С., Карпухин К.Е. Тепловые двигатели установок электро- и теплоснабжения, использующие биотоплива: Учеб. пос. для вузов. М.: Изд-во МАДИ, 2014. 92 с.
- 2. Александров А.А., Архаров И.А., Марков В.А. и др. Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения / Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2014. 691 с.
- 3. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
- 4. Марков В.А., Девянин С.Н., Семенов В.Г., Шахов А.В., Багров В.В. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2011. 536 с.
- 5. Коцарь Ю.А., Головащенко Г.А., Плужников С.В., Коростышевский И.М. Новые источники сырья для биодизеля // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2011. № 4. С. 23-24
- 6. Александров А.А., Архаров И.А., Марков В.А. и др. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. 791 с.
- 7. **Федоренко В.Ф., Сорокин Н.Т., Буклагин Д.С. и др.** Инновационное развитие альтернативной энергетики: Ч. 1. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2010. 348 с.
- 8. Марков В.А., Володин В.В., Загородских Б.П., Фурман В.В. Использование альтернативных моторных топлив в дизельных двигателях // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2014. № 9. С. 3—10.
- 9. **Юданов С.В.** Вопросы производства альтернативных видов моторных топлив // Грузовик. 2012. № 5. С. 41–43.
- 10. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. Луганск: Изд-во Восточноукраинского университета им. В. Даля, 2009. 240 с.
- 11. **Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. 311 с.
- 12. Уханов А.П., Уханов Д.А., Шеменев Д.С. Дизельное смесевое топливо. Пенза: РИО ПГСХА, 2012. 147 с.

- 13. Паронян В.Х. Технология жиров и жирозаменителей. М.: Изд-во "ДеЛи принт", 2006. 760 с.
- 14. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В., Ерохин И.В. Инновационная технология получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. 2015. № 7. С. 36-37.
- 15. **Тиу Д.**, **Фан С.**, **Дзоу Х.** Производство биодизеля из непищевого сырья // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 2. С. 17—22.
- 16. **Ивашура С.В.** Рынок масличных в новом столетии // Масла и жиры. 2011. № 2. С. 4—7.
- 17. Година Е.Д. Определение степени теплоты сгорания дизельного смесевого топлива из соевого масла // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2013. Т. 10. № 5. С. 25–29.
- 18. **Морозов Ю.Н.** Анализ масложирового рынка России и возможные перспективы развития // Масла и жиры. 2012. № 7. С. 4—6.
- 19. **Марков В.А., Девянин С.Н., Наянова М.А.** Соевое масло как топливо для дизелей // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2016. № 2. С. 20—38.
- 20. Hamasaki K., Tajima H., Takasaki K. et al. Utilization of Waste Vegetable Oil Methyl Ester for Diesel Fuel // SAE Technical Paper Series. 2001. № 2001-01-2021. P. 1–6.
- 21. **Payri F., Macian V., Arregle J. et al.** Heavy-Duty Diesel Engine Performance and Emission Measurements for Biodiesel (from Cooking Oil) Blends Used in the ECOBUS Project // SAE Technical Paper Series. 2005. № 2005-01-2205. P. 1–7.
- 22. **Supple B., Howard-Hildige R., Gonzales-Gomez E. et al.** The Effect of Steam Treating Waste Cooking Oil of the Yield of Methyl Ester // Journal of the American Oil Chemists' Society. 2002. Vol. 79. № 2. P. 175–178.
- 23. Уханов А.П., Сидоров Е.А., Сидорова Л.И., Година Е.Д. Экспериментальная оценка влияния смесевого топлива на показатели рабочего процесса дизеля // Известия Самарской ГСХА. 2012. № 3. С. 33-37.
- 24. **Кулманаков С.П., Семенов Р.С.** Особенности рабочего процесса дизельного двигателя при использовании смесей рапсового масла и дизельного топлива // Ползуновский вестник. 2007. № 4. С. 55—58.
- 25. **Кухарёнок Г.М., Бармин В.А.** Влияние смесевого биотоплива на рабочий процесс дизеля // Вісник НАУ (Вестник Национального авиационного университета, г. Киев). 2009. № 1. С. 122—125.
- 26. Фомин В.Н., Губейдуллин Х.Х. Показатели работы дизеля на биотопливе // Сельский механизатор. 2009. № 11. С. 34—35.
- 27. **Горбачев М.** Альтернативные источники энергии для АПК // Сельский механизатор. 2007. № 4. С. 6–7.
- 28. Панкин К.Е., Иванова Ю.В., Кузьмина Р.И. и др. Сравнение жидких биотоплив с нефтяными топливами по экологическим характеристикам // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 3. С. 3—6.
- 29. Панкин К.Е., Иванова Ю.В., Кузьмина Р.И. и др. Сравнение жидких биотоплив с нефтяными топливами по эксплуатационным характеристикам // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 2. С. 23—25.
- 30. Панкин К.Е., Иванова Ю.В., Кузьмина Р.И. и др. Сравнение биотоплив с нефтяными топливами по физико-химическим характеристикам // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 1. С. 8-10.
- 31. **Васильев Ф.П.** Методы оптимизации. М.: Факториал Пресс, 2002. 824 с.
- 32. Марков В.А., Маркова В.В., Сивачев В.М., Сивачев С.М. Определение оптимального состава смесевых биотоплив // Автомобильная промышленность. 2015. № 2. С. 5–9.
- 33. Иващенко Н.А., Марков В.А., Зенин А.А. и др. Оптимизация состава смесевого биотоплива для транспортного дизеля // Безопасность в техносфере. 2007. № 5. С. 22-25.
- 34. Парсаданов Й.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. Харьков: Изд-во ХПИ, 2003. 244 с.
- 35. Звонов В.А., Корнилов Г.С., Козлов А.В. и др. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей. М.: Изд-во "Прима-Пресс-М", 2005. 312 с.

AT3K

ЭКОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИЯ

ВОДОРОД – ТОПЛИВО БУДУЩЕГО!?

М.И. Жаров, по материалам зарубежной печати

Сегодня что ни разговор про экологию, так тут же звучит слово "водород". Топливо будущего, топливо будущего! Скоро вместо бензина будет водород и вместо солярки тоже, и вместо метана. Ведь это же сплошная "экология", никакого дыма, никакого углекислого газа и парникового эффекта. Футуристический проект, который почему-то никак не становится явью. Почему? Попробуем разобраться.

Водород (H₂) в качестве топлива для ДВС автомобилей на самом деле не так хорош, как об этом псевдоэкспетры постоянно говорят по телевизору и рассуждают в прочих СМИ. Прежде всего, экономически (и экологически) выгодного способа получения водорода в стратегических масштабах пока не придумали. Надо сказать, что чистого водорода где-то в далеком космосе полным-полно, это самый распространенный элемент во Вселенной.

Но мы живем на планете Земля, где водорода в чистом виде нет почти совсем. Его можно добыть только электролизом (электрическим разложением) воды или переработкой все тех же природного газа-метана, нефти или угля. Разработаны процессы получения водорода даже из биомассы. Но во всех случаях необходима дополнительная энергия, дорогое сырье, сложный и не быстрый процесс, а суммарные затраты на производство этого газа пока что превосходят результат, причем намного.

Теплота сгорания водорода, если оценивать по весу (но не по объему!) в несколько раз больше, чем у всех прочих видов топлива, он совершенно безвреден для живых организмов, не вызывает коррозии металлов, не портится сам и это прекрасно. Теоретически при сжигании водорода образуется только водяной пар, поэтому, прежде всего, с точки зрения экологов, он также очень хорош. Соединяясь с кислородом в двигателе и отдав энергию, водород опять становится водой в виде пара. Получается, что это даже не горючее в полном смысле слова, а только такой, слегка необычный способ передачи и хранения энергии.

Но этот элемент крайне взрывоопасен, он воспламеняется в смеси с воздухом от малейшей искры, уже при концентрации в 4 %. И до 96 %! Достаточно вспомнить страшные катастрофы наполненных водородом дирижаблей в первой половине XX в или взрыв на взлете американского космического шаттла "Колумбия". В то же время, благодаря



Toyota Mirai— первый серийный автомобиль на водородном топливе

своей малой молекуле, водород настолько текуч, что под давлением он легко проникает через уплотнения, пластмассы и даже напрямую сквозь сталь (!), попутно реагируя и делая ее при этом хрупкой (водородное охрупчивание).

Не так-то просто будет обеспечить безопасную многолетнюю эксплуатацию миллионов водородных машин, их массовую заправку без привлечения саперных подразделений, постоянный контроль над техническим состоянием и массовый ремонт водородных систем питания с гарантированным качеством.

Спустимся с теоретических небес на нашу суровую землю и оглянемся вокруг. Самые современные бензиновые автомобили любого класса и те, то и дело, по разным причинам, вспыхивают и сгорают как свечки, часто с трагическими последствиями. Но бензин все-таки сначала горит, а только потом (да и то, лишь иногда) взрывается. Водород — совсем другое дело. Результат, скажем, встречного столкновения на большой скорости



Баллоны с водородом занимают в автомобили приличный объем



ИНФОРМАЦИЯ ЭКОЛОГИЯ



Заправка водородом несложна

двух водородных суперкаров с полными "баками" под давлением в 350—700 атмосфер, будет такой, что у чудом выживших свидетелей надолго пропадет тяга к компьютерным стрелялкам, игре "Дозор", стритрейсингу, бейсджампингу, трейнсерфингу и прочему драйву и адреналину!

Шутки-шутками, но, в самом деле: не страшно ли будет даже гулять по городу, дыша чистым воздухом, когда рядом будут проноситься сотни таких вот бомб на колесах? Должна быть решена и проблема безопасного хранения больших объемов водорода на заправочных станциях, его перевозки и перекачки в эти хранилища. Кто-нибудь где-нибудь обязательно забудет до конца закрыть какой-нибудь краник или не вовремя заменит прокладочку... Для террористов водородные станции – просто подарок! Да и без этих личностей хлопот хватает. Этот сверхлегкий газ коварен, он может, например, утекая, скапливаться пузырем под бетонным потолком гаражного бокса и висеть там до тех пор, пока не проскочит маленькая искорка в светильнике!

Что же касается экологии, то и здесь не все так просто. Да, всеми так ненавидимой углекислоты водородный автомобиль добавляет в атмосферу меньше, чем спящий мышонок, это истинная правда. Но давайте вспомним, сколько в нашем воздухе совсем безобидного и инертного... азота? Правильно, очень много, около 80 %. В обычных условиях этот газ не соединяется с кислородом. А вот в камере сгорания водородного двигателя температура достигает почти 3000 °С. В таком бело-голубом пламени оксиды азота, те самые канцерогенные NO, плодятся в огромном количестве. Но они-то гораздо вреднее, чем и CO, и CO₂ вместе взятые!

Чтобы уменьшить их образование, мотору придется работать в "холодном" режиме на очень бедных смесях с малым содержанием водорода, а это — потеря мощности. Да и масло на стенках цилиндров (а куда же без него?) будет выгорать при высокой температуре более интенсивно, вызывая выделение того же СО, альдегидов и всякой прочей гадости.



Водородный бак должен быть сверхнадежным

Сгорание — есть сгорание, пусть даже и водородное, но другие вещества по соседству никуда не денутся, и реагировать друг с другом не перестанут. Так что без маленького, но дорогого нейтрализатора, видимо опять не обойтись. Получается, что чистота сгорания опять будет обеспечиваться дополнительным агрегатом.

Кстати, оказалось, что, попадая в моторное масло, наш "гидрогениум" окисляется, превращается в воду и нарушает смазку. Склонен водород к детонации и к преждевременному воспламенению на впуске от раскаленных клапанов и свечей в цилиндрах, а также к соединению при определенных условиях с тем же азотом с образованием ядовитого аммиака (NH₃). Неспроста взор конструкторов водородной тематики обратился не так давно к двигателям Ванкеля. Здесь топливная смесь сначала поступает в относительно холодную часть корпуса и только потом доставляется ротором до камеры сгорания. Да и клапанов у "ванкеля" нет. Плохо только то, что масла в нем сгорает в несколько раз больше, чем в поршневом моторе, стало быть, экология опять страдает.

И вот еще такой нюанс. Если водород начнет производиться в глобальных масштабах, резко возрастет и его неизбежная утечка в атмосферу. При том, что, по мнению многих специалистов, свободный водород, стремительно поднимаясь вверх, охотно соединяется на небесах с активным озоном (O_3) и превращает в простую дистиллированную водичку драгоценный озоновый слой нашей планеты.

Другим чисто экономическим препятствием для водородной энергетики становится устойчивое снижение цены на нефть и газ в последние годы. Да и вообще, метан и бензин гораздо проще и выгоднее сжигать непосредственно, чем возиться с их "переделкой" в опасный водород.

AT3K

ЭКОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИЯ



Система водородного питания несложна, но имеет особенности

В общем, с таким, на первый взгляд, перспективным, "топливом будущего", трудностей пока хватает, просто все о них как-то странно и скромно помалкивают. Тем не менее, прогресс не стоит на месте, и водород начинает постепенно применяться. Но не для классических двигателей внутреннего сгорания, а в топливных элементах электромобилей. В корпусе элемента размещены два полюса-электрода, разделенные особой ионообменной мембраной (твердый электролит). Водород подается к отрицательному полюсу (аноду), кислород — к положительному (катоду). Процесс обеспечивает платиновый катализатор на углеродной ткани, по-



Водородные заправки уже работают

мещенный с обеих сторон мембраны между анодом и катодом. Молекулы водорода под действием катализатора распадаются на аноде на положительные протоны (H⁺) и отрицательные электроны (e⁻). Электроны задерживаются мембраной и остаются на аноде. Протоны проходят сквозь мембрану на катод, производя электрический ток. Объединив несколько сотен таких элементов в батарею, мы получаем достаточную для привода электромобиля мощность.

При включении в цепь тягового электромотора электромобиля или другого потребителя энергии электроны бегут с анода на катод, где кислород соединяется с молекулярным водородом с образованием воды в виде горячего пара. Так из электрохимической реакции получается электроэнергия. На "выхлопе" образуется только чистая дистиллированная вода и тепло, причем, в отличие от процесса сгорания водорода, тут нет оксидов азота и других нехороших веществ. Если вы хорошо учились в школе, то вероятно, уже догадались, что это не что иное, как электролиз, только наоборот.

У топливного элемента очень высокий КПД (от 50 до 70 %), поэтому расход топлива таким электромобилем (или водородомобилем, как его правильнее величать?) будет невелик. Но для работы этого чудо-агрегата топливо все-таки необходимо. Это может быть чистый водород или другое горючее (метан, метанол, этанол, даже привычный бензин), которое непосредственно "на борту" будет превращено в водород в специальном аппарате —

реформере или конверторе, с названием еще пока тоже не определились.

Необходим еще и сжатый кислород, который тоже надо где-то хранить и который тоже взрыво- и пожароопасен, хотя применяются менее эффективные, но более безопасные воздушные топливные элементы.

Кроме того, есть более простые проекты использования в ДВС метано-водородных и бензино-водородных топливных смесей. В этом случае водород интенсифицирует сгорание углеводородного топлива и выхлоп получается более чистым.

Ну что ж, поживем и что-ни-будь интересное увидим...



<u>AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016</u>

РЕПОРТАЖ РЕПОРТАЖ

СЕРДЦЕ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

С.В. Куприянов, пресс-центр ПАО "ГАЗПРОМ"

"Тазпром" располагает крупнейшей в мире газотранспортной системой. Она представляет собой уникальный технологический комплекс, включающий в себя объекты транспортировки и хранения, а также обеспечивает непрерывный цикл поставки газа от скважины до конечного потребителя. Общая протяженность газотранспортной системы на территории России составляет 170,7 тыс. км. В транспортировке газа используются 250 компрессорных станций, на которых установлено 3825 газоперекачивающих агрегатов.

Сегодня мы расскажем вам о том, как создаются газоперекачивающие агрегаты (ГПА) — важнейшие элементы газотранспортной системы, благодаря которым становится возможным транспортирование природного газа по магистральным газопроводам.

В настоящий момент российская газовая отрасль полностью обеспечивает себя отечественными ГПА. Их делают в России несколько заводов — в Казани, Перми, Рыбинске, Санкт-Петербурге и Уфе. В северной столице газоперекачивающие агрегаты производит "РЭП Холдинг", входящий в структуру промышленных активов "Газпромбанка". "РЭП Холдинг" образуют крупнейшие промышленные предприятия "Невский завод" и "Завод ЭЛЕКТРОПУЛЬТ", а также собственный научно-проектный "Институт энергетического машиностроения и электротехники".

"РЭП Холдинг" выпускает широкую номенклатуру энергетического и турбокомпрессорного оборудования, в том числе газоперекачивающие агрегаты "Ладога" на базе стационарных газовых турбин мощностью 16, 22/25 и 32 МВт. Все процессы производства и испытаний газовых турбин локализованы на "Невском заводе", который мы посетили в первую очередь.

"Невский завод"

Завод был основан в 1857 г. Уже более 75 лет здесь разрабатывают и производят продукцию энергетического машиностроения — газовые и паровые турбины, центробежные и осевые компрессоры, нагнетатели. В 2007 г. завод вошел в состав "РЭП Холдинга". При инвестиционной поддержке "Газпромбанка" была проведена глобальная реконструкция — построены новые производственные цеха, внедрены современные технологии, приобретены уникальные станки.

На "Невском заводе" работают высококвалифицированные специалисты. К слову сегодня в Санкт-Петербурге активно развивается промышленность, а технические специальности востребованы и престижны. "Училищем" наши остроумные собеседники на заводе просторечно называют не ПТУ, а МГТУ им. Баумана — ведущий технический вуз страны, а турбины именуют по цифрам мощности "тридцать вторая", "двадцать пятая".



В северной столице газоперекачивающие агрегаты производит "РЭП Холдинг"

Сейчас основная продукция "Невского завода" — ГПА-32 "Ладога" (выпускается по лицензии General Electric Oil & Gas), разработанный специально для российского рынка на основе базового семейства газовых турбин MS5002E. Это единственный газоперекачивающий агрегат мощностью 32 МВт, производимый в России. Его КПД составляет 36 %, и что немаловажно — этот агрегат отличается образцовыми экологическими характеристиками — эмиссия вредных выбросов составляет не более 18 ррт (ррт означает "частей на миллион", от английского parts per million — прим. ред.).

Мощность 32 МВт точно гармонирует с пропускной способностью магистральной трубы диаметром 1420 мм — самой большой по диаметру, используемой для магистральных газопроводов (в исключительных



Уже более 75 лет "Невский завод" разрабатывает и производит продукцию энергетического машиностроения — газовые и паровые турбины, центробежные и осевые компрессоры, нагнетатели

AГЗК+АТ, № 6 (111) / 2016



РЕПОРТАЖ ИНФОРМАЦИЯ



Основная продукция "Невского завода" – ГПА-32 "Ладога"



Филипп Пицци рассказывает нам, как устроена газовая турбина

случаях мощность ГПА может быть и больше, например, на компрессорной станции "Портовая", перекачивающей газ по газопроводу "Северный поток", установлено несколько ГПА мощностью 52 МВт).

На примере "Ладоги" инженер — кстати, родом из Италии, но давно проживающий в России, — Филипп Пицци рассказывает нам, как устроена газовая турбина: "Сигара турбины делится на две части: газогенераторная и часть низкого давления — так называемая силовая часть".

В газогенераторной части атмосферный воздух сжимается лопатками и затем подогревается в камере сгорания за счет сжигания в сжатом воздухе жидкого топлива. Приобретая таким образом высокую температуру и давление, воздух (газ) поступает в область низкого давления, попутно расширяясь и ускоряясь.

Далее поток газа попадает на рабочие лопатки турбины, отдавая им часть своей энергии и передавая крутящий момент на вал. Вал приводит в работу компрессор для перекачки газа.

"Невский завод" не стоит на месте и постоянно развивается, внедряя новые разработки. Сейчас завод активно готовится к запуску в серийное производство новой стационарной газотурбинной установки Т16 мощностью 16 МВт (16-мегаваттные двигатели — самые распространенные в "Газпроме", ими оборудована треть всех ГПА).

Как и в случае с "Ладогой" это также совместная разработка с General Electric Oil & Gas, но уже не просто освоение лицензии, а совместное проектирование. КПД - 37 %.

Филипп Пицци принимает активное участие в проекте производства. "Преимущество такой машины состоит в том, что она хороша и для газоперекачки и для выработки электроэнергии — куда скажут, туда и поставим. Первый образец у нас идет в Москву для энергетиков", — говорит Филипп.

Ключевое слово в этом проекте — стационарная. Конструктор турбины Т16 Артем Андропов объясняет, в чем главное отличие стационарной газовой турбины от авиационной. Авиационная турбина значительно меньше по размеру, считается удобной для прохождения техобслуживания, но имеет более ограниченный ресурс. Кроме того, самолетный двигатель необходимо приспосабливать для нужд газовой отрасли. Стационарная же турбина делается специально для промышленного потребителя и в большей степени отвечает требованиям надежности.

"Наиболее существенным преимуществом этой машины является очень большой ресурс работы. Полный жизненный цикл — 200 тыс. ч. Это более 20 лет", — объясняет Артем.

"Еще одним важным достоинством этой машины является ее высокая эффективность. Чтобы выработать энергию, нам нужно меньше подвести топлива. Машина отличается компактностью и удобством монтажа. Она представлена на одной опорной раме, и благодаря этому мы можем производить ее полную установку и запуск в течение 24 ч. То есть после доставки всего комплекта оборудования на объект через 24 ч мы получим первую электроэнергию с клемм генератора", — обещает Артем Андропов.

Артему 25 лет, на заводе он работает уже почти 6 лет. Заканчивал Санкт-Петербургский государствен-



Новая стационарная газотурбинная установка Т16 мощностью 16 МВт



AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016

РЕПОРТАЖ РЕПОРТАЖ



Рама вспомогательных устройств для новой турбины

ный морской технический университет. "Я по специальности турбинист — мне эта тематика очень близка. Сразу хотел работать на постоянной основе и на четвертом курсе устроился сюда — уже инженером-конструктором, работал полных три дня в неделю. На специальность "газовые турбины" я попал случайно. Изначально хотел пойти на более общее направление "Судовые автоматизированные установки". Как назвать это — ошибкой, или счастливой случайностью, которая помогла мне найти свое дело? Но в течение пяти лет, чем дольше я учился, тем больше понимал, что это мое", — рассказывает создатель турбины.

Участок изготовления рамы под новую турбину. Преимущества этой рамы в том, что она имеет возможность боковой выкатки. По рельсам, которые приделаны к ней, можно будет выкатить полностью всю "сигару" либо только часть высокого давления или низкого, тем самым обслуживать или ремонтировать только тот узел, который необходим.

Мастер участка Антон Казанцев рассказал, что турбина будет защищена шумотеплоизолирующим кожухом (КШТ). "В верхней части кожуха будут находиться кран-балки. Поэтому какие-либо агрегаты, которые в процессе эксплуатации могут нуждаться в замене или в оперативном доступе, можно будет демонтировать непосредственно, не снимая крыши с КШТ, через специальные двери", — поясняет мастер участка.

Антон работает на заводе с 2011 г. До этого работал на другом предприятии "РЭП Холдинга" — заводе "ЭЛЕКТРОПУЛЬТЕ", о котором мы расскажем ниже. Учился в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете на факультете корабельной энергетики и автоматики.

"По большому счету это профильно, потому что газовые турбины относятся к энергетическим установкам. Мне здесь интересно, я всегда хотел работать на производстве. У нас на заводе сильная кадровая политика и достойные условия труда — это очень важно", — подчеркнул Антон Казанцев.

Мы поинтересовались у Антона, как удается преодолевать языковой барьер в общении с партнерами-итальянцами. Антон Казанцев уверено отвечает:



Конструктор турбины Т16 Артем Андропов

"Я в пределах университетского образования отлично владею английским языком и с пяти лет учился в английской школе. Разговорный английский у меня на достойном уровне".

Пообщавшись с мастером участка, мы направились в цех сборки. Здесь все составляющие части агрегата собираются в единую композицию. Перед нами корпус турбины низкого давления, в него устанавливается выхлопной диффузор камеры сгорания турбины T16. Через него проходят сгоревшие газы.

С запуском серийного производства сборка этого узла будет осуществляться быстрее, но в случае с первым образцом все более детально перепроверяется.

Параллельно со сборкой новой установки на заводе идет отлаженный процесс выпуска компрессоров, нагнетателей, паровых турбин и другой продукции.

Главный конструктор управления центробежных компрессоров "РЭП Холдинга" Владимир Климентьевич Юн привел нас к станку, где обрабатывается корпус компрессора, который будет работать в составе газоперекачивающего агрегата ГПА-25 на нефтегазоконденсатном месторождении.

Корпус компрессора — это кованая бесшовная труба с толщиной стенки около 100 мм. На фото корпус после предварительной обдирки (снятия окали-



В цехе сборки — здесь все составляющие части агрегата собираются в единую конструкцию

AL3K

РЕПОРТАЖ ИНФОРМАЦИЯ



Главный конструктор управления центробежных компрессоров "РЭП Холдинга" Владимир Климентьевич Юн

ны). Но корпус — это только одна из составных частей компрессора, для получения конечного продукта рабочими завода будет проделана немалая работа: приварены лапы, установлены патрубки, сделана расточка внутренних полостей.

Завершающим этапом создания каждой турбины является ее проверка на испытательном стенде. Он проектируется и строится индивидуально под каждую машину определенной мощности, так как каждая турбина в своем конструктиве уникальна.

Начальник стендового управления Владимир Болдырев поясняет: "Есть помещение, где подготавливается воздух, есть помещение, где готовится газ, сверху пультовая, электрическое хозяйство. Это целый комплекс сооружений — это не просто площадка".

Пройдя испытания, турбина будет готова к эксплуатации, но останется "последний штрих" — подключение к системе автоматического управления.

И для того чтобы увидеть, как создают эти системы управления, мы направились на завод "ЭЛЕКТРОПУЛЬТ".

Импортозамещение в действии

АО "Завод ЭЛЕКТРОПУЛЬТ" ведет отсчет своей истории с 1935 г. Первой продукцией завода были пульты для электростанций, именно они дали назва-



Корпус компрессора — это кованная бесшовная труба с толщиной стенки около 100 мм



Проверка турбины на испытательном стенде

ние заводу. В 2004 г. предприятие вошло в состав "РЭП Холдинга".

Сегодня основная продукция завода — это автоматизированные системы управления, преобразовательная техника, средневольтное оборудование, комплектные распределительные устройства, комплектные трансформаторные подстанции, электроприводные газоперекачивающие агрегаты, контейнерные конструкции для электротехнического оборудования.

Собираются эти шкафы из профиля и по универсальному техническому решению германских фирм Siemens и Rittal, которые являются владельцами базовых на мировом рынке технологий производства шкафов Sivacon (конструкция фирмы Siemens) и Rittal.

Профиль Rittal делают из нержавеющей стали. Уголок такого профиля имеет 16 граней — очень сложная конструкция.

Но завод "ЭЛЕКТРОПУЛЬТ" разработал и свой вариант конструктива электрошкафов под названием "Сфера". Устройство предназначено для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока, а также для управления оборудованием и его защиты от коротких замыканий и перегрузок. Создан он в 2015 г. командой завода. Таким образом, заводчане внесли свой собственный вклад в большое дело импортозамещения. А руководил созданием но-



Завод "ЭЛЕКТРОПУЛЬТ"



жатчопач Репортаж



Низковольтные электрошкафы изготовлены для объектов газопровода "Бованенково — Ухта"

вого образца начальник отдела комплектных трансформаторных подстанций Андрей Гогулин.

"Этот шкаф призван стать нашей полноценной альтернативой зарубежным конструктивным решениям. И если в шкафы по иностранным технологиям монтируется исключительно оборудование определенных изготовителей, кстати, тоже иностранных, то в конструктив "Сфера" можно смонтировать оборудование абсолютно любого поставщика", — рассказывает создатель новинки.

Андрей показывает нам уже готовый шкаф "Сфера Н". Буква "Н" обозначает низкий класс напряжения. В дальнейшем завод планирует сделать такой конструктив по всем трем классам напряжения (низкое, среднее, высокое).

Происхождение названия "Сфера" незамысловатое, оно идет от самого коллектива завода. "Сфера деятельности "ЭЛЕКТРОПУЛЬТА" — это производство электрооборудования и электрошкафов, в частности", — пояснил Андрей Гогулин.

А коллективом своим завод гордится. Здесь, как и на "Невском заводе", работают настоящие профессионалы своего дела.

Каждый электрошкаф по сути уникален: получив из конструкторского бюро сборочные чертежи, монтажники на макете рисуют место нахождения приборов и по трассировке делают жгут. Потом готовое изделие готовят к монтажу, штыряют, паяют разъемы, одевают маркировочные трубочки и готовое изделие устанавливают в шкаф.

Когда электрошкаф будет полностью готов, его установят в блок-контейнере, который на месторождении служит домом для людей и техники.

А строят эти дома следующим образом.

Легкий и прочный несущий каркас, выполненный из стали, обшивается по стенам и потолку утеплителем в виде сэндвич-панелей, которые позволяют эксплуатировать блок-контейнер при температуре окружающей среды от -60 до +40 °C.

Внутри устанавливается энергетическое оборудование для газоперекачивающего агрегата. Напомина-



Каркасы будущих электрошкафов



Созданием нового образца руководил начальник отдела комплектных трансформаторных подстанций Андрей Гогулин

ет кухонный гарнитур, нашпигованный встроенной техникой. Блок-контейнеры оборудуют системами освещения, вентиляции, обогрева, пожарно-охранной сигнализацией.

"Квартирный вопрос полностью решается", — шутят заводчане. Конструкция блок-контейнера позволяет изготавливать его с отдельными помещениями, тамбурами, рабочими зонами, зонами отдыха.

На глаза нам попался блок-контейнер знакомого фирменного газпромовского цвета Pantone-300. Значит, заказ "Газпрома". Он отправится работать на компрессорную станцию "Усинская" газопровода "Бованенково — Ухта". Пожелаем ему хорошей дороги и долгой службы.

А нам пора отправляться домой, сегодня был насыщенный и емкий день. Мы побывали на двух заводах Санкт-Петербурга, тесно связанных с газовой отраслью. Увидели своими глазами, как работает отечественная промышленность, выпуская высококачественную и конкурентоспособную продукцию — газоперекачивающие агрегаты — сердце газотранспортной системы страны.

Москва-Санкт-Петербург-Москва



АВТОПРОМ ИНФОРМАЦИЯ

НОВЫЙ ГАЗОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ V8 SCANIA

A.C. Савченко, по материалам компании Scania

Компания Scania пополнила ряд двигателей для выработки электроэнергии новым газовым двигателем V8, который обеспечивает более низкий уровень выбросов углекислого газа по сравнению с дизельными аналогами.



16,4-литровый дизельный двигатель V8

Последнее дополнение к широкому ассортименту двигателей Scania промышленного назначения — новая версия проверенного 16,4-литрового двигателя V8, который теперь работает и на газовом топливе. Модель специально адаптирована для задач односкоростных генераторов электроэнергии. Выпуск данного двигателя обусловлен растущей глобальной потребностью в замене дизельного топлива на природный газ и биогаз, чтобы снизить как выбросы углекислого газа, так и шум. Использование природного газа обеспечивает сокращение выбросов CO_2 на рекордные 20%, а биогаза — на 90%.

Повышение интереса к альтернативным видам топлива неизбежно, директор по поддержке продукции подразделения двигателей Scania Андреас Стенемир отметил, что это предложение является частью целей Scania по устойчивому развитию, мы наблюдаем возрастающий интерес к газовым двигателям по всему миру, в частности, в Бразилии и России.

Руководитель группы двигателей ООО "Скания-Русь" Петр Соболевский прокомментировал заинтересованность России в инновационности модельного ряда двигателей: "Еще два года назад был издан правительственный указ о переводе как минимум 50 % общественного транспорта на газомоторное топливо. Связано это с тем, что в стране имеются большие запасы газа, а экологические выбросы газовых двигателей значительно ниже. Одновременно продолжается газификация страны. Учитывая, что стоимость электроэнергии, поступающей по проводам, только растет, выработка электроэнергии при помощи электростанций с приводом от газовых двигателей является экономически более выгодной. Особенно важно учитывать, что газовые электростанции, как правило, выполняются с полной утилизацией выделяемого тепла. Такое исполнение повышает КПД электростанции примерно до 95 %".

Благодаря модульной системе Scania новые газовые двигатели включают многие компоненты дизельного двигателя V8. Это позволяет обеспечить клиентам глобальный доступ к запчастям, а также быстрое и надежное техническое обслуживание. Модульная система продукции Scania позволяет пересматривать дизельный двигатель для использования с различными видами топлива.

"Если квалифицированные технические специалисты привыкли иметь дело с двигателями Scania в целом и с двигателями V8 в частности, они легко смогут работать и с газовой моделью", — объяснил Андреас Стенемир. По его словам, новый двигатель также показал отличные результаты в недавних полевых испытаниях: "Он работает уже в течение 500 ч, и мы не обнаружили никаких проблем".

Модульная система продукции Scania позволяет модифицировать дизельный двигатель для использования с различными видами топлива.



Модульная система продукции Scania позволяет модифицироваь дизельный двигатель для использования с разлиными видами топлива

Сжатие и искровое зажигание — это два главных принципа, на которых основана работа двигателей внутреннего сгорания. В компрессионных двигателях сильное сжатие повышает температуру топливной смеси, и она воспламеняется. Этот принцип лежит в основе работы как дизельных, так и этаноловых двигателей Scania.

Газовые двигатели Scania, напротив, построены на базе технологии искрового зажигания, при которой топливная смесь воспламеняется от свечи зажигания. Scania производит обширную линейку газовых двигателей, работающих на биогазе и природном газе.

"Российский рынок уже давно требует большого количества газовых электростанций во всех диапазонах мощностей, — отметил Петр Соболевский, — появление на нашем рынке газовой электростанции с двигателем Scania позволит нам расширить список продуктов, предлагаемых клиентам, и уже в настоящее время некоторые наши дилеры готовы к выходу на потенциальных клиентов".



AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016

АВТОПРОМ АВТОПРОМ



ВАДИМ СОРОКИН: СЖАТЬ ЗУБЫ И НЕ ОСТАНАВЛИВАТЬСЯ

Президент "Группы ГАЗ" Сорокин Вадим Николаевич прогнозирует революцию "беспилотников" на мировом авторынке через 10 лет, рассказывает о том, что мешает производить конкурентные автомобили из российских комплектующих и предупреждает, что в 2016 г. рынку придется "сжать зубы и не останавливаться".

- Какой у Вас ориентир по уровню производства на этот год?
- Мы ставим себе цель в этом году обеспечить продажи не ниже 2015 г. Я не знаю, какой будет рынок, но ясно, что если сокращение рынка продолжится, наша доля должна на нем расти. Предварительно, если смотреть на то, как сейчас развиваются события, можно сказать, что производство в штуках у нас будет на уровне прошлого года либо булет лучше.
- В качестве одной из мер по сокращению издержек рассматриваете ли сокращение персонала?
- Мы адаптировали численность персонала под потребности компании еще в прошлом году. Поэтому в ближайшее время сокращений мы не планируем, если не произойдет ухудшения в экономике, которое заставит нас это делать.

Пик авторынка после кризиса 2008 г. был в июне 2013 г. Но с тех пор рынок коммерческой техники планомерно, как идет поезд, каждый месяц снижается на 250 автомобилей. Есть те или иные стимулы – например, программа утилизации. Если отнять то, что продано по этой программе, видно, что рынок без нее упал бы еще сильнее. Что произошло в июне 2013 г.? Центробанк и правительство начали выводить денежную массу из экономики, и рынок стал сокращаться. Сегодня правительство должно решить, что делать дальше. Ставка Центробанка сегодня значительно выше, чем инфляция. Деньги выведены с рынка и, конечно, без них экономика, как и тело человека без крови, функционировать не может. И в особенности это ощутимо для рынка коммерческого транспорта, который является барометром инвестиционной активности основных отраслей экономики, малого и среднего бизнеса.

- В условиях девальвации рубля и ориентира на импортозамещение вопрос закупки автокомпонентов стоит сегодня очень остро. Он даже стоил должности главе "АвтоВАЗа" Бу Андерссону. Какой объем закупок автокомпонентов у вас сегодня приходится на иностранных поставщиков?
 - Порядка 25 %.
- Планируете ли наращивать долю российских поставщиков?
- У нас доля иностранных компонентов определяется, в основном, дизельными двигателями на "Газелях". Для остальной линейки техники грузовиков и автобусов мы выпускаем двигатели на нашем Ярославском моторном заводе и продолжаем вести локализацию компонентов для этих двигателей. Бензиновые двигатели для "Газелей" мы также производим сами на Ульяновском моторном заводе. Нужно ли сегодня организовывать собственное производство дизельных моторов для легких коммерческих автомо-

билей? Учитывая скорость развития технологий электрических автомобилей, расширение парка газовых машин сегодня — вопрос, который требует глубокого анализа и всестороннего изучения.

- Реально сегодня производить в России конкурентные автомобили с использованием только отечественных комплектующих?
 - При желании все можно организовать.
 - Вадим Николаевич, что тогда мешает?
 - Отсутствие желания у ряда поставщиков.
- Сами поставщики не хотят повышать качество своей продукции?
- Очевидно. Хотя для этого им не нужно ничего изобретать. Тенденции, процессы и требования – все это прописано в станлартах. Лаже лумать не нало. В своей работе с поставщиками мы их обучали, делились нашим опытом и подходами, и некоторые из поставщиков пошли по пути улучшения качества своей продукции. Некоторые, наоборот, решили, что не будут ничего делать – ведь все равно и так будут покупать. И тогда мы были вынуждены переориентироваться на других поставщиков. Но если мы говорим о дальнейшей локализации, одного стремления производителей автокомпонентов нелостаточно. Сеголня запретительные ставки по кредитам заморозили инвестиционную активность в отрасли. Кроме того, из-за ослабления рубля выросла стоимость инвестиций, так как для организации производств необходимо оборудование, которое производители вынуждены закупать за границей, потому что российских аналогов не существует. Расширение локализации невозможно без изменения существующей денежно-кредитной политики для промышленного сектора и расширения программ стимулирования со стороны государства.
- Вы планируете достичь доли экспорта в 25 %. За счет каких ресурсов хотите это сделать?

В 2014—2015 гг. мы начали с того, что перетряхнули все "дедушкино наследство", посмотрели, куда ГАЗ исторически поставлял свои машины и где у нас могут быть те или иные крепкие корни. Ну, например, Вьетнам, Куба и т. д. На эти рынки раньше много поставлялось машин. Мы съездили, оценили потенциал, посмотрели, какие компании там работают, с кем можно сотрудничать, какие входные условия, таможенные пошлины...

Сегодня все когда говорят про экспорт, имеют в виду Европу. Но надо понимать, что в Европе нас никто не ждет. Во-первых, мы вошли в ВТО на условиях, когда машины из России в Европу облагаются таможенной пошлиной в 22 %. Кроме того, Европа очень хорошо защищена техническими и экологическими требованиями. Они определяют страте-

AT3K

АВТОПРОМ ИНФОРМАЦИЯ

гические требования, которые будут предъявляться технике, под эти требования создают технологии и устанавливают их на свои автомобили, потом мы покупаем эту технологию, иначе не будет доступа на их рынок. И потом мы ввозим этот автомобиль в Европу с пошлиной в 22 %.

Или попробуйте продать машину в Египет. Хороший рынок — до 40 % таможенной пошлины. Так или иначе, каждый рынок — непростой и везде высокий инвестиционный порог. Необходимо понимать, куда надо идти, а куда нецелесообразно. Например, мы не можем пока себе позволить пойти в те страны, где нужен правый руль. Мы можем сделать праворульные автомобили, но это потребует времени и серьезных вложений. Или, например, в Китай легкому коммерческому транспорту идти не надо. Во-первых, таможенные пошлины, во-вторых, очень низкая цена на внутреннем рынке. Поэтому мы будем продавать там, где мы можем продавать сейчас.

Изучить рынок, понять, где мы можем найти ту или иную схему, тот или иной алгоритм присутствия, — мы потратили на это почти два года, объехав все, проведя тестовые испытания, переговоры с потенциальными дистрибьюторами и выстроив стратегию до 2020 г. Она позволяет, на наш взгляд, к 2020 г. выйти на 50%-ную экспортную долю в выручке. И теперь мы будем реализовывать эти планы.

Российский рынок для ГАЗа мал. Мы вложили средства в новые продукты во всех наших сегментах. Но вот парадокс: когда у тебя появилась возможность выиграть на рынке — не стало рынка. Поэтому экспорт для нас в приоритете.

- Несмотря на значительное падение рынка, есть глобальные тренды, которые нельзя игнорировать, например, производство электромобилей и "беспилотников". Как вы намерены их реализовывать? Кто ваши партнеры в этом направлении, и какие средства готовы инвестировать?
- К этому мы относимся очень серьезно. С 2010 г. в рамках программы "Роботехника" начались разработки и испытания беспилотных "Газелей". Эти технологии придут гораздо быстрее, чем мы можем себе представить. При этом наиболее перспективное направление с точки зрения развития автономных технологий вождения — это электромобили.
 - Считаете, что за электромобилями будущее?
- Это удобно. А человек всегда будет платить за то, что удобно. Приехал домой, воткнул шнур в розетку, а утром спокойно уехал. У таких автомобилей нет никаких экологических последствий они экологически чистые. Кроме того, они совершенно бесшумные. Не решена пока только проблема с обогревом, так как расходовать электроэнергию в условиях зимы на обогрев всего автомобиля дорого, но эта проблема решаема.
- A что касается беспилотных автомобилей? Многие мировые компании готовят свои разработки уже к $2018-2020\,\mathrm{rr}$.
- Технически создать такие машины нет проблем и сегодня. Вопрос в цене и их безопасности. С одной стороны, компоненты для них все еще дорогие. С другой стороны, если хакеры взламывают банки и воруют оттуда деньги, то представьте, что будет, если кто-то возьмет контроль над автомобилем, вытащит его на мост и сбросит на проходящий внизу поезд? Это будет катастрофа.

Работая над созданием беспилотных автомобилей, нужно работать над искусственным интеллектом. Разница в управлении сегодня в том, что водитель заранее может

предвидеть определенную ситуацию на дороге и ее предотвратить, а компьютеру это пока не под силу. После того, как все необходимые технологии будут доступны (радары и другие системы), весь мир будет совершенствовать программу управления автомобилем.

Мы стоим на этапе, когда в ближайшие 5-10 лет все, что есть в автомобильной промышленности, будет подвержено анализу и все будет меняться. Изменение технологических процессов, которое происходит во всем мире, с развитием новых технологий очень серьезно заставит измениться и автомобильную промышленность.

- Будут ли такие автомобили доступны по цене?
- Я думаю, что они в любом случае будут доступны, а иначе нет смысла их производить. Все микросхемы — это кремний. А кремний — это песок, а песка у нас много.
- Откуда вы привлекаете средства на финансирование программы беспилотных автомобилей? У государства запрашивали помощь?
- Мы знаем, что у государства есть такая программа, и хотели бы в ней участвовать, но пока зайти в нее не можем и финансирование осуществляем из своих собственных сил.
 - A не можете почему?
- Потому что пока приоритеты расставляются в первую очередь в пользу инфраструктуры, финансирования строительства специального полигона, а не разработок автомобильной техники. Плюс сейчас готовится постановление правительства о субсидировании производителей, и там есть очень странное ограничение, которого нет во всем мире. Например, будут субсидироваться только автомобили с полным приводом. А как же автобусы, пассажирский транспорт? Ведь его сделать легче, так как он ходит по одному маршруту и специальную программу для него прописать гораздо проще. Кроме того, автоматические системы помощи водителю, которые являются неотъемлемым этапом создания беспилотных технологий, наиболее востребованы именно в сегменте автобусов, где они позволяют снизить риски ДТП, происходящих из-за человеческого фактора. А в итоге весь этот сегмент остается неохваченным.
 - Сколько вы вкладываете в этот проект?
- Компания Bosch ежегодно в разработку перспективных сенсоров вкладывает 400 млн евро. И это только сенсоры
 - Это сопоставимо с вашими цифрами?
- Это пример того, сколько необходимо. Это большие программы. Традиционные способы изготовления автомобиля начинают меняться, и вопрос в том, на чем будет зарабатывать автомобильная промышленность, в чем будет ее добавленная стоимость. Но сегодня с учетом стоимости кредитов и падающего рынка мы не можем себе позволить оттягивать из нашей инвестиционной программы значительные средства на беспилотные технологии.
 - Кредиты привлекаете?
 - Кредиты сейчас недоступны.
 - Закредитованность?
- Нет, они недоступны по условиям. Кредиты запредельно дорогие. Сегодня ключевая ставка ЦБ значительно превышает средний показатель рентабельности в машиностроении. А доступные инструменты для поддержки инвестиционной деятельности практически так и не созданы. Те, которые имеются, существуют в крайне ограниченном объеме. К примеру, на этот год в госбюджете недостаточно средств, чтобы просубсидировать инвестиционные креди-



AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016

РИДРИМИЧЕНИЯ новости

ты автопрому в нужном объеме. Поэтому пока работаем практически за счет привлечения собственных ресурсов.

- Каким вы видите этот год для российского автопрома?
- Я уверен, что без новой продукции ни одна компания на рынке не задержится. Те, кто думают, что вот сейчас мы пересидим кризис и после этого начнем инвестировать, вылетают с рынка. Нужно сжать зубы и не останавливаться. И вот тогда, когда начнется подъем, у тебя будет продукт и предложение.

Согласно нашей стратегии, сегодня мы уже не реализуем какие-то глобальные проекты по текущим продуктам, мы их уже сделали. Теперь мы смотрим туда, где путем небольших изменений можем занять нишу, на которой раньше не были представлены, и получить новые заказы. А это и есть дополнительная прибыль.

- Многие эксперты сегодня говорят, что этот год это год консолидации и ухода слабых игроков с рынка. Действительно ли стоит ждать таких процессов? Ведете ли вы какие-то переговоры по объединению или укрупнению своего бизнеса?
- Нет, если бы вели, то давно бы сказали об этом. Я думаю, что российский автомобильный бизнес так или иначе vже сложился.

А с иностранными компаниями не рассматриваете нового сотрудничества?

- Мы уже работаем с ними в режиме контрактной сборки, и нас этот режим устраивает, так как нивелирует для нас некоторые риски. Например, риск на входе, когда ты можешь получить на рынке более дорогие компоненты либо некачественные, и риск на выходе – это продажи. Условия же контрактной сборки как раз снимают с ГАЗа эти базовые риски, это сфера ответственности наших партнеров. Наша сфера ответственности – это процесс изготовления качественного автомобиля: сварка, окраска, сборка и испытания машин.
- По замещению нижегородских мощностей, на которых собирались модели General Motors, когда планируете опреде-
- Мы изучаем различные варианты. Есть ряд заинтересованных компаний, которые готовы использовать эти мощности и компетенции ГАЗа по организации производства автомобилей. Но сейчас не самое удачное время для запуска новых проектов: вопрос в том, что дальше будет с санкциями и когда наступит большая определенность в экономической ситуации.

.

ТЕХНИКА "УРАЛ" НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГАЗОПРОВОДА "СИЛА СИБИРИ"

Автомобильный завод "Урал" "Группы ГАЗ" поставил компании "Стройтрансгаз" 33 ед. техники . Техника "Урал", среди которой – трубоплетевозы, вахтовые автобусы и новая разработка предприятия – автомобили "Урал NEXT", будет работать на строительстве магистрального газопровода "Сила Сибири".

Автомобильный завод "Урал" поставил 33 автомобиля компании "Стройтрансгаз": вахтовые автобусы для перевозки рабочих бригад, трубоплетевозы, бортовые автомобили. При строительстве газопровода будут также эксплуатироваться вахтовые автобусы "Урал NEXT" с колесной формулой 6х6, вся техника оснащена двигателем ЯМЗ-53622-1 мощностью 240 л.с.

Автомобили будут использоваться при строительстве одного из масштабных проектов ПАО "Газпром" - магистрального газопровода "Сила Сибири" - газотранспортной системы общей протяженностью 4 тыс. км, призванной



обеспечить транспортировку газа Якутского и Иркутского центров газодобычи на Дальний Восток России и в КНР. ЗАО "Стройтрансгаз" является генеральным подрядчиком на одном из участков строительства инфраструктуры для обустройства Чаянлинского месторождения — ресурсной базы газотранспортной системы "Сила Сибири".

Вся поставленная техника "Урал" — в специальной комплектации: в ней установлен "северный пакет" опций для комфортных условий работы в суровых климатических условиях. Автомобили будут эксплуатироваться в районе г. Ленска Республики Саха (Якутия).

Традиционные внедорожные качества техники "Урал" позволят специалистам "Стройтрансгаза" при строительстве газопровода беспрепятственно добираться в труднодоступные участки местности, автомобили хорошо зарекомендовали себя при работе в сложных условиях, в районах Сибири и Крайнего Севера. Автомобильный завод "Урал" и "Стройтрансгаз" сотрудничают около трех лет, за это время строительной компании поставлено порядка 200 ед. техники – вахтовых автобусов, трубоплетевозов, самосвалов.

Благодаря высокой проходимости техника "Урал" "Группы ГАЗ" используется в самых разных отраслях при реализации стратегически важных для экономики России проектов и выполняет самые разноплановые задачи. На шасси "Урал" устанавливается различные виды специального оборудования, большее количество из них – для нефтедобывающей отрасли. Это крановые и бурильные установки, агрегаты для ремонта скважин, паропромысловые установки, агрегаты для депарафинизации скважин, автобетоносмесители, топливозаправщики, пожарные автоцистерны, передвижные мастерские и др.

НОВОСТИ ИНФОРМАЦИЯ

"ГАЗПРОМ" И "РОСТЕХНАДЗОР" ПОДПИСАЛИ СОГЛАШЕНИЕ

5 апреля 2016 г. в центральном офисе ПАО "Газпром" Председатель правления А.Б. Миллер и руководитель Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору ("Ростехнадзор") А.В. Алешин подписали Соглашение о сотрудничестве в сфере промышленной безопасности.

Соглашение определяет ряд основных направлений сотрудничества. Среди них — подготовка предложений по совершенствованию законодательства РФ, повышение эффективности работы по обеспечению промышленной безопасности производственных объектов, в том числе за счет широкого использования современных технологий. Документ направлен на развитие эффективного и долгосрочного взаимодействия в области обеспечения промышленной безопасности при осуществлении добычи, транспортировки и переработки углеводородов, выработки и передачи потребителям тепловой и электрической энергии.

"Газпром" и "Ростехнадзор" будут взаимодействовать в инновационной деятельности, выполнении научно-исследовательских работ, проведении оценок соответствия и экспертиз продукции, работ, услуг и систем менеджмента качества, применяемых на промышленных объектах.

Стороны договорились обмениваться информацией, оказывать друг другу экспертно-консультационные услуги, проводить совместные мероприятия. Согла-



шение также предполагает возможность использования экспериментальной лабораторной базы и испытательных стендов дочерних обществ и организаций "Газпрома" для проведения исследований и испытаний в интересах "Ростехнадзора".

ПОСТАВКА ГАЗОВЫХ ТЯГАЧЕЙ IVECO КОМПАНИИ SMET

Iveco поставила компании SMET десять магистральных тягачей Stralis LNG, работающих на сжиженном природном газе. Всего в рамках трехлетнего соглашения логистический оператор получит 330 автомобилей.

Iveco заключила трехлетний контракт с одним из ведущих итальянских логистических операторов SMET на поставку 330 магистральных тягачей Stralis. Как минимум четверть автомобилей будет укомплектована двигателями, работающими на сжиженном природном газе (LNG).

"Вот уже более 25 лет компания Iveco инвестирует в развитие



экологичных транспортных решений. Контракт с компанией SMET показал, что мы движемся в правильном направлении. На

сегодняшний день природный газ является лучшей альтернативой дизельному топливу. Кроме того, все наши газовые автомо-



AΓ3K+AT, № 6 (111) / 2016

ИНФОРМАЦИЯ НОВОСТИ

били могут работать и на экологически чистом биометане. Iveco и CNH Industrial имеют все необходимые ресурсы, чтобы развивать эти технологии в Италии и других европейских странах", — прокомментировал Пьер Лаут.

Первые 10 машин уже были переданы клиенту пармским дилером Iveco ARA в присутствии президента компании Iveco Пьера Лаута и коммерческого директора SMET Доменико де Poca. Грузовики Stralis AT440S33T/P, способные преодолеть на одной полной за-

правке до 750 км, комплектуются двигателями Cursor 8 "Евро-6" мощностью 330 л.с., вместительным LNG-баком на 510 л, а также резервным 70-литровым баком для сжатого природного газа. Еще одна модель, которая значится в контракте на поставку, — AS440S48T/P, оснащенная двигателем Cursor 11 "Евро-6" мощностью 480 л.с. с технологией Hi-SCR.

"В течение последних пяти лет CNH Industrial занимает лидирующую позицию по отрасли в промышленном индексе

Доу-Джонса. В своих решениях мы ориентируемся на стратеразвития устойчивого транспорта, поскольку нам не безразлично состояние окружающей среды и мнение общественности. К 2018 г. на всех основных маршрутах SMET будет эксплуатировать экологичную технику, а уже в апреле этого года начнет поставлять грузы на наш завод в Судзаре с помощью тягачей **Stralis** LNG", - отметил, в свою очередь, вице-президент CNH Industrial по транспортной логистике Ной Дрор.

"ГАЗПРОМНЕФТЬ — СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ" ЗАПУСТИЛА МАСШТАБНУЮ АКЦИЮ

"Газпромнефть — смазочные материалы" в партнерстве с одним из крупнейших российских автодилеров — группой компаний "Модус" — запустила на Юге России масштабную акцию по замене масел G-Energy на льготных условиях для клиентов авторизированных станций технического обслуживания.

Услуга, включающая в себя стоимость работ и продукции, будет предоставляться по специальной цене на 25 дилерских станциях технического обслуживания, расположенных в Липецке, Воронеже, Ростове-на-Дону, Краснодаре, Армавире, Новороссийске, Сочи, Ставрополе и Пятигорске.

Акция подразумевает замену отработавших масел на продукцию специализированной линейки G-Energy Service Line, в которую входят полностью синтетические смазочные материалы, предназначенные для профессионального обслуживания легковых автомобилей, легких грузовиков и микроавтобусов.

"Сегодня многих автовладельцев не устраивают высокие цены авторизированного сервиса. Мы по-

ставили себе задачу максимально снизить стоимость услуг, но не в ущерб качеству. Масла G-Energy способны полностью заменить дорогостоящие импортные аналоги, — говорит директор ГК "Модус" Николай Зайцев. — Продукция компании "Газпромнефть — смазочные материалы" имеет свыше 250 одобрений ведущих автопроизводителей, среди которых BMW, Mercedes-Benz, Volkswagen, Volvo, Renault, General Motors и др. Для нас, как для официальных дилеров, это имеет первостепенное значение, поскольку позволяет гарантировать нашим потребителям международные стандарты обслуживания".

"Продукция под брендом G-Energy производится по уникальной адаптивной технологии и не уступает по качеству маслам ведущих зарубежных производителей, — отмечает генеральный директор компании "Газпромнефть — смазочные материалы" Александр Трухан. — При этом для нас важно, чтобы цены на нашу продукцию были максимально доступными для российских автомобилистов. Уверен, что нашу продукцию по достоинству оценят все участники акции!"

AГЗК+АТ, № 6 (111) / 2016

