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

Том 16. № 1. 2017 г. **Издается с января 2002 г.** **Периодичность – ежемесячно**

Журнал включён в Перечень изданий ВАК Минобрнауки РФ

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА

Чайников Д.А., Волков Н.А., Гаваев А.С.
Применение термоэлектрических модулей в газобаллонном оборудовании автомобилей . . . 3
В работе рассмотрен вопрос повышения эффективности автомобилей в условиях низких температур окружающего воздуха. На основе особенностей работы газовых редукторов предложено использовать термоэлектрические модули для получения дополнительной электроэнергии в автомобиле. В условиях низких температур окружающего воздуха предложено использовать полученную дополнительную энергию для подогрева элементов газобаллонного оборудования и аккумуляторной батареи автомобиля.

Анисимов И.А., Иванов А.С.
Повышение эффективности эксплуатации газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях . . . 7
Рассмотрены вопросы влияния низкотемпературных условий эксплуатации на расход топлива газодизельных автомобилей и их приспособленность к таким условиям, предложена математическая модель, описывающая изменение величины расхода топлива от изменения температуры окружающего воздуха.

Марков В.А., Са Бовэнь, Неверов В.А., Зыков С.А.
Горчичное масло как экологическая добавка к нефтяному дизельному топливу . . . 10
Показаны преимущества использования топлив растительного происхождения в качестве моторных топлив. Рассмотрены возможные пути использования горчичного масла в качестве топлива для дизеля. Приведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С, работающего на смесях дизельного топлива и горчичного масла различного состава. Подтверждена возможность улучшения показателей токсичности отработавших газов при использовании этих смесей в качестве топлива для автомобильных и тракторных дизелей.

Гарипов М.Д., Сакулин Р.Ю., Домбровский О.П., Зиннатуллин Р.Ф.
Работа двигателя с искровым воспламенением на обводненном этаноле . . . 22
Экспериментально исследована возможность снижения в поршневом ДВС эмиссии оксидов азота на близком к стехиометрическому режиме сгорания, которое реализуется за счет увеличения содержания воды в водном растворе этанола. Установлено, что с ростом количества воды в обводненном этаноле наблюдается существенное снижение уровня эмиссии оксидов азота без падения удельной мощности двигателя.

Агаммедова С.А.
Управление рисками в магистральных газонефтетрубопроводных системах на основе теории возможностей . . . 26
Для управления рисками в магистральных газонефтетрубопроводных системах при нечетко линейных ограничениях на объемы средств, выделенных на ликвидацию аварий, используются базовые модели возможностной оптимизации. Нахождение оптимального решения задачи приводится к решению детерминированных систем псевдобулевых неравенств. Разработана вычислительная процедура определения объема средств, необходимых для ликвидации возможных аварий в новом временном периоде, на основе известных удельных затрат в предыдущем временном периоде.

ИНФОРМАЦИЯ

На ежегодной конференции "Нефть и газ Сахалина 2016" . . . 37
Оливье Лазар, председатель концерна "Шелл" в России, выступил с докладом на ежегодной конференции "Нефть и газ Сахалина 2016", проходящей в Южно-Сахалинске.

Кузнецова М.В.
Газомоторная техника "Группы ГАЗ" на выставке GasSUF-2016 . . . 41
На 14-й Международной выставке GasSUF-2016 "Группа ГАЗ" показала новую модель микроавтобуса "ГАЗель NEXT" с битопливным газово-бензиновым двигателем EvoTech 2.7 LPG. На выставке также была представлена линейка продукции "Группы ГАЗ" на сжатом природном газе: автомобили "ГАЗель NEXT CNG" и "ГАЗон NEXT CNG", автобус большого класса "Круиз" и автобус среднего класса ПАЗ-320412 CNG.

Селина Ю.В.
Яркий финал гоночного сезона . . . 43
Третий этап чемпионата по кольцевым гонкам на классических автомобилях Moscow Classic Grand Prix 2016, прошедший 1–2 октября 2016 года, собрал в заявочной ведомости 107 участников.

"Группа ГАЗ" на международной выставке в Сургуте . . . 45
Первая АЗС Shell в Татарстане . . . 46
Сборка техники "Группы ГАЗ" в Казахстане . . . 47
Проект G-Energy Service стартовал на Балканах . . . 48

Учредитель
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)

Редактор
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 29.12.2016 г.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49

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 "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

© ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", "АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо", 2017

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

Vol. 16. № 1. 2017 г. **Published from January, 2002** **Periodicity – monthly**

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

CONTENTS

SCIENCE

Chainikov D.A., Volkov N.A., Gavaev A.S.

Application of the thermoelectric modules in a gas-cylinder equipment of vehicles 3

The paper deals with increasing the efficiency of vehicles at low ambient temperatures. Based on the features of the pressure regulator work it is proposed to use the thermoelectric modules for an additional power in vehicle. At low ambient temperatures it is proposed to use the additional energy for heating the elements of natural gas equipment and battery energy storage.

Anisimov I.A., Ivanov A.S.

Improving the efficiency of exploitation of gas-diesel automobiles in low temperature conditions 7

The article considers the influence of low temperature exploitation conditions on fuel consumption gas-diesel automobiles and their adaptation to such conditions, a mathematical model that describes the change in fuel consumption from changes in ambient temperature.

Markov V.A., Sa Bowen', Neverov V.A., Zykov S.A.

Mustard oil as an ecological additive to petroleum diesel fuel 10

Advantages of using fuels of vegetable origin as motor fuels are shown. Experimental research of diesel engine D-245.12S functioning on mixtures of diesel fuel and mustard oil of various percentage is given. Possible ways of using mustard oil as fuel for a diesel engine are considered. An opportunity of improving characteristics of exhaust gases toxicity by using these mixtures as a fuel for automobile and tractor diesel engines is demonstrated.

Garipov M.D., Sakulin R.Yu., Dombrovski O.P., Zinnatullin R.F.

Running the engine with spark ignition at the watered ethanol 22

Experimentally studied possibility of decreasing nitrogen oxides emissions in piston ICE at near-stoichiometric combustion mode, which realized because of increasing water content in aqueous ethanol. Defined, what dramatically decreasing of nitrogen oxides emissions take place in accordance with increasing of water content in aqueous ethanol without any engine power decreasing.

Agammedova S.A.

Risk management in the main oil gas pipeline systems on the basis of the theory of opportunities 26

For the risk management systems at the main oil gas pipeline systems on the amount of funds allocated for the elimination of accidents, using basic models Possibilistic optimization. Finding the optimal solution of the problem reduces to the solution of deterministic systems of pseudo inequalities. A computational procedure for determining the amount of funds necessary for the elimination of possible accidents in a new time period, based on the known specific expenses in the previous interim period.

INFORMATION

At the annual conference "Sakhalin Oil and Gas 2016" 37

Olivier Lazare, Chairman of concern "Shell" in Russia, gave a presentation at the annual conference "Sakhalin Oil and Gas 2016", held in Yuzhno-Sakhalinsk.

Kusnezova M.V.

Gas Vehicle Equipment "GAZ Group" exhibition GasSUF-2016 41

At the 14th International Exhibition GasSUF-2016 "GAZ Group" has shown a new model of the minibus "Gazelle the NEXT" with bitoplivnym gas-petrol engine EvoTech 2.7 LPG. The exhibition was also presented product line of "GAZ Group" CNG: vehicles "Gazelle NEXT CNG" and "GAZon NEXT CNG", a large class bus Cruise and middle class bus PAZ-320412 CNG.

Selina Yu.V.

Bright final race of the season 43

The third stage circuit Championship of classic cars Moscow Classic Grand Prix 2016, held on 1–2 October 2016, gathered in the application sheet 107 participants.

"GAZ Group" at the international exhibition in Surgut 45

The first Shell gas stations in Tatarstan 46

Assembling technology of "GAZ Group" in Kazakhstan 47

Project G-Energy Service started in the Balkans 48

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.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**

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", 2017

УДК 656.13

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В ГАЗОБАЛЛОННОМ ОБОРУДОВАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Д.А. Чайников, канд. техн. наук;
Н.А. Волков, А.С. Гаваев, канд. техн. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

В работе рассмотрен вопрос повышения эффективности автомобилей в условиях низких температур окружающего воздуха. На основе особенностей работы газовых редукторов предложено использовать термоэлектрические модули для получения дополнительной электроэнергии в автомобиле. В условиях низких температур окружающего воздуха предложено использовать полученную дополнительную энергию для подогрева элементов газобаллонного оборудования и аккумуляторной батареи автомобиля.

Ключевые слова: газобаллонные автомобили; газовый редуктор; инфракрасный подогрев; низкотемпературные условия эксплуатации; термоэлектрический модуль.

APPLICATION OF THE THERMOELECTRIC MODULES IN A GAS-CYLINDER EQUIPMENT OF VEHICLES

Chainikov D.A., Ph.D. of technical sciences;
Volkov N.A., Gavaev A.S., Ph.D. of technical sciences, Tyumen Industrial University, Tyumen

The paper deals with increasing the efficiency of vehicles at low ambient temperatures. Based on the features of the pressure regulator work it is proposed to use the thermoelectric modules for an additional power in vehicle. At low ambient temperatures it is proposed to use the additional energy for heating the elements of natural gas equipment and battery energy storage.

Keywords: gas-cylinder vehicles; pressure regulator; infrared preheater; low temperature operating conditions; thermoelectric module.

В современных условиях количество устройств, потребляющих электроэнергию в автомобиле, растет. Это касается все большего использования в автомобилях средств навигации и видеофиксации, зарядки переносных мобильных устройств и др. Установка газобаллонного оборудования на автомобиле также увеличивает количество потребителей электроэнергии. Дополнительные потребители увеличивают расход топлив и количество вредных веществ, выбрасываемых с отработавшими газами [1, 2, 5, 10].

Важной особенностью газобаллонных автомобилей является применение специальных устройств, призванных в несколько раз снижать давление газа, поступающего из баллона. На автомобильном транспорте наибольшее распространение получил газовый редуктор [4]. Поскольку при поступлении газа в редуктор происходит его интенсивное испарение и охлаждение, редуктор присоединяется к системе жидкостного охлаждения двигателя для предотвращения обмерзания редуктора и мембран. Таким образом, в газобаллонном автомобиле появляется еще один источник потерь тепла двигателя. Данные потери не столь значительны, но при низких температурах окружающего воздуха дополнительное охлаждение сказывается негативно. Дополнительный подогрев при этом становится еще одним источником потребления электроэнергии в автомобиле.

Вышеперечисленные особенности формируют необходимость, с одной стороны, снижения расхода топлив за счет уменьшения потребляемой элек-

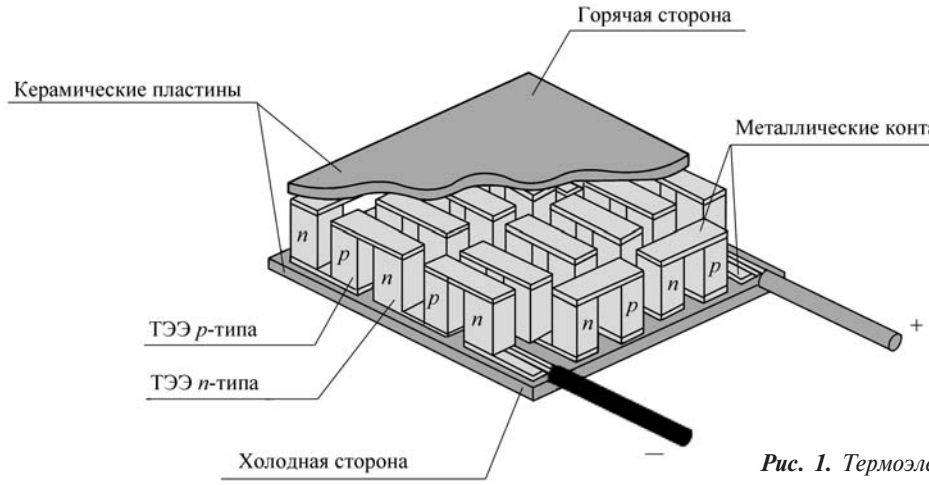

Рис. 1. *Термоэлектрический модуль*

троэнергии в автомобиле, с другой – дополнительного подогрева ряда устройств автомобиля, в том числе элементов газобаллонного оборудования (ГБО).

Существующие решения данной проблемы затрагивают лишь один из ее аспектов. Либо применяют подогрев и тем самым увеличивают расход топлива, либо его уменьшают, снижением количества потребляемой электроэнергии.

Для комплексного решения вышеозначенной проблемы могут быть использованы термоэлектрические модули (ТЭМ). Они способны нагревать одну сторону и охлаждать другую при подаче электричества либо вырабатывать электричество при наличии разницы температур. То есть устройство объединяет в себе источник и потребителя тока одновременно.

ТЭМ представляет собой набор термопар, электрически соединенных, как правило, последовательно (рис. 1). В стандартном ТЭМ термопары помещаются между двух плоских керамических пластин. Пластины выполнены из оксида или нитрида алюминия. При прохождении постоянного электрического тока через ТЭМ между его сторонами образуется перепад температур. Одна сторона (холодная) охлаждается, а другая (горячая) нагревается. Если с горячей стороны ТЭМ обеспечить эффективный отвод тепла, например, с помощью радиатора, то на холодной стороне можно получить температуру, которая будет на десятки градусов ниже температуры окружающей среды. Степень охлаждения будет пропорциональна величине тока.

При помещении ТЭМ в область с различными температурами (с одной стороны модуля температура выше, с другой меньше) он может вырабатывать электроэнергию. Эта особенность позволяет использовать ТЭМ на поверхностях с разными температурами для получения электроэнергии.

Как было отмечено выше, газовый редуктор в газобаллонных автомобилях является устройством, объединяющим в себе среды со значительно разнящимися температурами. Температура сжиженного газа на входе в редуктор составляет –40 °С, а температура охлаждающей жидкости в работающем двигателе – в среднем +80 °С. Таким образом, разница температур в газовом редукторе может достигать 120 °С.

На рис. 2 представлен график зависимости эффективности ТЭМ ZT TEC1-12706 от силы тока для двух диапазонов разностей температур [3].

Как видно из рис. 2, чем выше разница температур dT на разных пластинах модуля, тем выше его эффективность. Разница температур в 120 °С в газовом редукторе позволит максимально использовать возможности ТЭМ.

Внедрение в конструкцию газового редуктора ТЭМ позволит преобразовывать существующую разницу температур в электроэнергию для автомобиля. На рис. 3 изображена область размещения ТЭМ в газовом редукторе.

Технически представляется возможным задействовать площадь в 4 см^2 в газовом редукторе автомобиля. Этого вполне достаточно для установки одного ТЭМ. В качестве возможного варианта

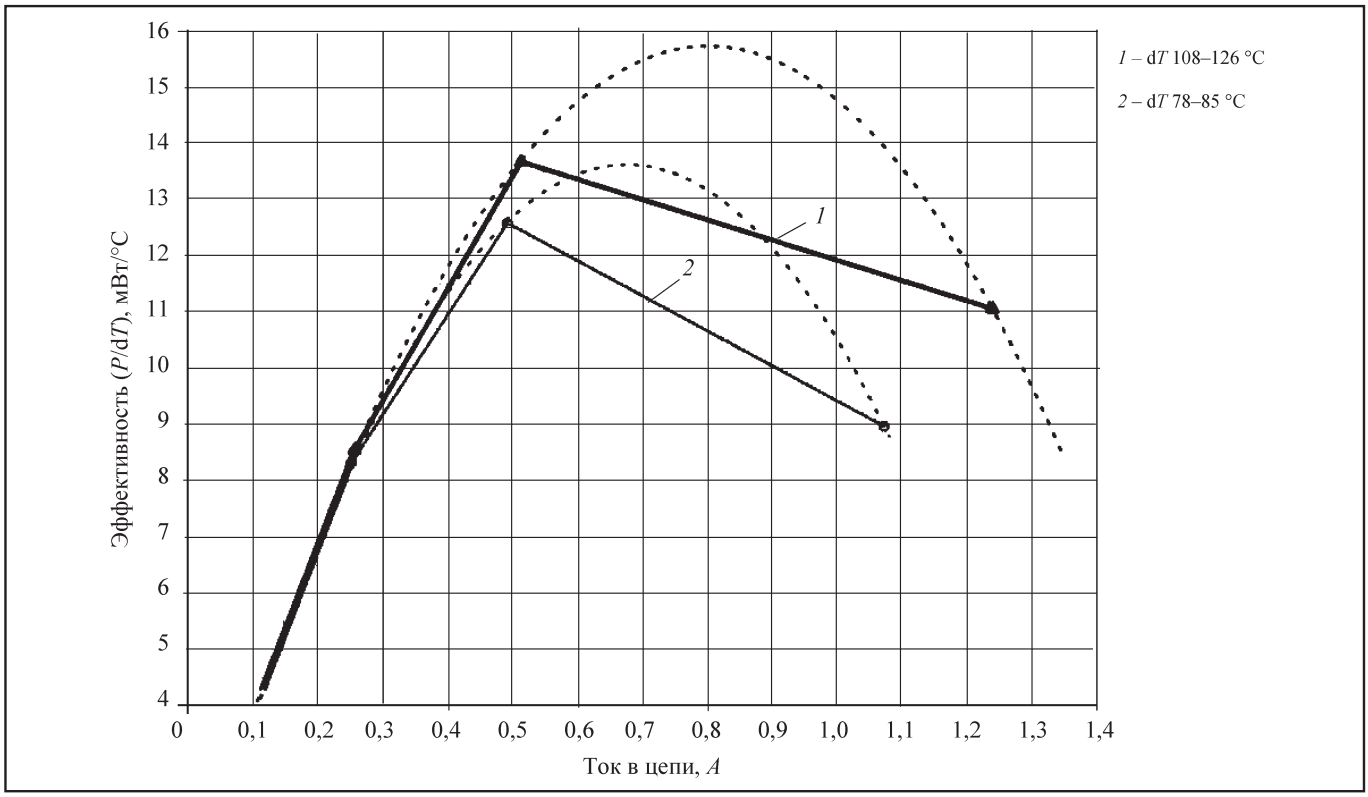

Рис. 2. *Зависимость эффективности ТЭМ ZT TEC1-12706 от силы тока*

представляется размещение ТЭМ на стенке испарителя, которая отделяет систему охлаждения от газа. Данная модификация не повлияет на качественную эксплуатацию газового редуктора, так как ТЭМ обладает достаточной прочностью и устойчив к разнице температур до 170 °С.

Подобная модификация позволит генерировать электроэнергию. Дополнительный источник электроэнергии может быть использован для различных целей. Наиболее эффективно использовать его для подогрева наиболее подверженных влиянию низких температур окружающего воздуха элементов автомобиля. На рис. 3 изображено место размещения нагревательного элемента, который может компенсировать потери тепла охлаждающей жидкости, проходящей через газовый редуктор. В качестве материала нагревательного элемента выбран инфракрасный подогрев, характеризующийся высокой эффективностью [6, 8].

Инфракрасный нагреватель потребляет 150 Вт/м^2. Исходя из площади нагреваемой поверхности в газовом редукторе около 0,0016 м^2 потребуется 0,24 Вт для компенсации потерь тепла охлаждающей жидкости в системе с газовым редуктором. Из зависимости, представленной на рис. 2, можно сделать вывод, что ТЭМ площадью 4 см^2 способен вырабатывать в десятки раз больше

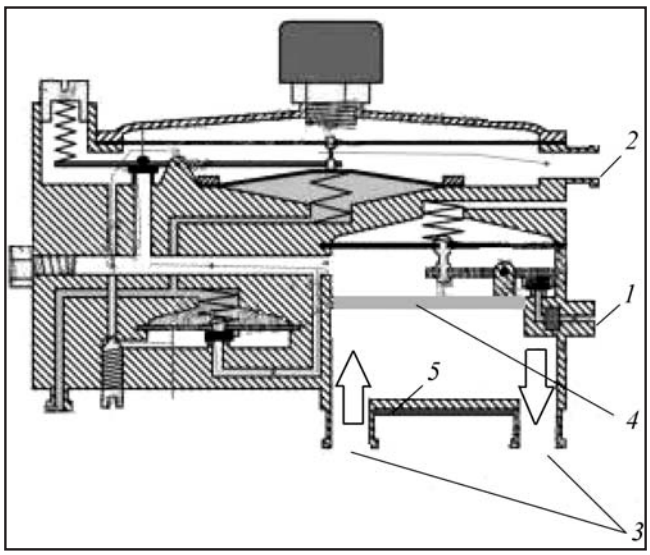

Рис. 3. *Схема установки ТЭМ в газовый редуктор:*
1 – входной газовый штуцер; *2* – выходной газовый патрубок; *3* – циркуляция системы охлаждения двигателя; *4* – термоэлектрическй модуль; *5* – инфракрасный нагревательный элемент

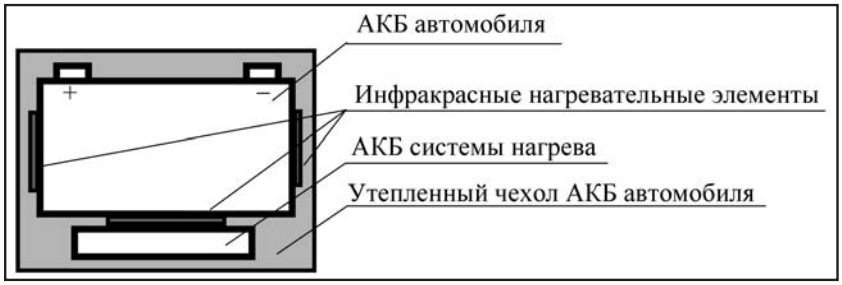

Рис. 4. *Система подогрева АКБ автомобиля*

электроэнергии. Для того чтобы вся вырабатываемая ТЭМ электроэнергия использовалась, ее можно накапливать в аккумуляторной батарее (АКБ) [7, 9, 11]. При этом АКБ в условиях низких температур теряет емкость. Следовательно, возникает необходимость подогрева самой АКБ для минимизации потерь емкости. На рис. 4 представлена схема подогрева АКБ, использующая электроэнергию ТЭМ газового редуктора.

Установленный ТЭМ позволит вырабатывать электроэнергию для питания системы подогрева аккумуляторной батареи автомобиля. Дополнительная АКБ емкостью 4,5 Ач накапливает электроэнергию, производимую ТЭМ. После того как двигатель переключится на газовое топливо, начинает генерироваться электроэнергия из ТЭМ в газовом редукторе и накапливается в малом АКБ системы. После выключения двигателя автомобиля система подогрева способна поддерживать плюсовую температуру в АКБ автомобиля до 20 ч, но этого вполне достаточно для ежедневной эксплуатации автомобиля.

Подобная система подогрева АКБ автомобиля предназначена для поддержания положительной температуры АКБ автомобиля в зимний период и способна решить проблему разрядки АКБ при низкой температуре окружающей среды. Именно низкая температура вызывает электрохимическую реакцию, в результате которой аккумулятор не способен выдать достаточный ток для запуска автомобиля в зимний период. Проблемы у любого автомобильного аккумулятора начинаются при температуре ниже минус 30 °С, в таком режиме батарея не может выдавать достаточную стартерную нагрузку.

Таким образом, применение ТЭМ в газовом редукторе позволит получать дополнительную электроэнергию и использовать ее для повышения эффективности автомобилей в условиях низких температур окружающего воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Анисимов И.А., Иванов А.С., Чикишев Е.М., Белов А.Г., Гаваев А.С.** Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и выбросам вредных веществ с отработавшими газами // ответственный редактор И.А. Анисимов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. 296 с.

2. **Анисимов И.А., Чикишев Е.М.** Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. М.: ООО "Газоил пресс", 2014. № 2 (702). С. 82–85.

3. **Волков Н.А., Чайников Д.А.** Рекуперация тепловой энергии двигателя на основе технологии термоэлектрических модулей // Энергосбережение и инновационные технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. 2015. С. 113–116.

4. **Ерохов В.И.** Газодизельная система питания нового поколения // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. М.: Машиностроение, 2013. № 9 (78). С. 15–23.

5. **Гаваев А.С.** Оценка условий эксплуатации автомобильного транспорта // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. Т. 3. С. 20–21.

6. **Карпов В.Н.** К вопросу об инфракрасном подогреве холодного масла в двигателях внутреннего сгорания // Записки Ленинградского сельскохозяйственного института Сборник научных трудов. Ленинград, 1969. С. 49–50.

7. **Конев В.В., Бородин Д.М., Райшей Д.В.** Создание опытного образца системы утилизации тепла для вакуумной машины // Фундаментальные исследования. 2016. № 3 (часть 3); URL: ttp://www.fundamental-research.ru/article/view?d=40078

8. **Манойлина С.З., Поливаев О.И., Журавец И.Б., Галкин Е.А.** Обогрев кабины транспортного средства // Глобальный научный потенциал. 2015. № 11 (56). С. 95–97.

9. **Чайников Д.А.** Приспособленность автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива // дисс. ... канд. техн. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2010.

10. **Чикишев Е.М., Анисимов И.А.** Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. М.: НП "Национальная газомоторная ассоциация", 2012. № 6(30). – С. 32–33.

11. **Konev V., Merdanov Sh., Karnaukhov M. & Borodin D.** Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive // Energy Production and Management in the 21st Century. The Quest for Sustainable Energy, 2014. Vol. 1, Southampton. WIT Press, 2014. P. 697–706.

УДК 629.12

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

И.А. Анисимов, канд. техн. наук;
А.С. Иванов, ГОУ ВПО "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ), г. Тюмень

Рассмотрены вопросы влияния низкотемпературных условий эксплуатации на расход топлива газодизельных автомобилей и их приспособленность к таким условиям, предложена математическая модель, описывающая изменение величины расхода топлива от изменения температуры окружающего воздуха.

Ключевые слова: газодизельный автомобиль; расход топлива; низкие температуры окружающего воздуха; приспособленность.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF EXPLOITATION OF GAS-DIESEL AUTOMOBILES IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Anisimov I.A. Ph.D. of technical of sciences;
Ivanov A.S. GOU VPO Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen

The article considers the influence of low temperature exploitation conditions on fuel consumption gas-diesel automobiles and their adaptation to such conditions, a mathematical model that describes the change in fuel consumption from changes in ambient temperature.

Keywords: gas-diesel automobile; fuel consumption; low ambient temperature; the adaptation.

Ежегодно увеличивается парк автомобилей с дизельными двигателями, на долю которых приходится подавляющее большинство междугородних грузопассажирских перевозок. Растет количество автомобилей, конвертируемых на газодизельный процесс, что связано с сокращением потребления жидких нефтепродуктов, а также снижением уровня загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ с отработавшими газами. Однако проблема приспособленности газодизельных автомобилей (ГДА) к низкотемпературным условиям (НУ) эксплуатации практически не изучена.

Эксплуатация автотранспортных средств в низкотемпературных условиях приводит к увеличению расхода топлива [1]. Это возрастание определяется увеличением потребления топлива двигателем, усилением сопротивления трансмиссии и шин, повышением аэродинамического сопротивления.

Связь между низкими температурами окружающего воздуха и топливной экономичностью автомобилей разных моделей играет важнейшую роль при организации и управлении эксплуатацией автомобилей в НУ.

При выполнении транспортной работы автомобилем в НУ эксплуатации существенное влияние на изменение величины расхода топлива оказывают температура окружающего воздуха и масса перевозимого груза.

Таким образом, исследования, направленные на установление закономерностей влияния НУ эксплуатации на расход топлива ГДА, и разработка на их основе путей сбережения топливно-энергетических ресурсов являются актуальной научной задачей.

Методика исследования

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации ГДА в НУ путем дифференцированного нормирования расхода топлива.

Объект исследования – грузовые бортовые автомобили КамАЗ-5320 и Урал-4320 с газодизельным двигателем КамАЗ-7409.10.

Эксплуатационные испытания проводились в период с 2007 по 2010 г. Автомобили были исправны, укомплектованы согласно нормативно-технической документации и отрегулированы согласно требованиям завода-изготовителя. Измерения температуры окружающего воздуха проводились при нагреве охлаждающей жидкости до рабочего значения. Измерение расхода топлива автомобилей производилось согласно ГОСТ 20306–90 [2]. В ходе проведения исследований установлено, что наиболее эффективный вариант эксплуатации ГДА – это движение автомобиля с максимальной загрузкой по междугородней дороге. Дорога с ровным сухим асфальтобетонным покрытием на участке г. Тюмень – г. Ишим. Скорость движения 70 км/ч. Диапазон измеряемых температур окружающего воздуха – от +26,2 до –38,3 °С. Нагрузка на двигатель обеспечивалась изменением массы перевозимого груза от нуля до номинального значения. Измерение расхода дизельного топлива (ДТ) производилось методом "доливки бака до полного". Измерение расхода компримированного природного газа (КПГ) производилось методом "падения давления по манометру" с использованием справочных таблиц по РД 3112199-1095-03 [3].

Результаты исследования

При проведении исследований масса перевозимого груза автомобилями была выражена через статический коэффициент использования грузоподъемности γ.

В качестве инструмента для выявления закономерностей влияния НУ эксплуатации на расход топлива автомобилей была выдвинута в качестве рабочей гипотезы двухфакторная аддитивная математическая модель:

$$G_т = G_о + S_t(t_{опт} - t_ф)^2 + S_γ γ,\ л(м^3)/100\ км, \quad (1)$$

где $G_о$ – минимальный расход при равенстве фактической и оптимальной температур окружающего воздуха при движении автомобиля без груза, л(м^3)/100км; $t_{опт}$ – оптимальная температура окружающего воздуха, °С; $t_ф$ – фактическая температура окружающего воздуха, °С; γ – статический коэффициент использования грузоподъемности; S_t, $S_γ$ – параметры чувствительности к изменению соответственно температуры окружающего воздуха и массы перевозимого груза по расходу топлива, л(м^3)/(100 км·°С^2), л(м^3)/100 км.

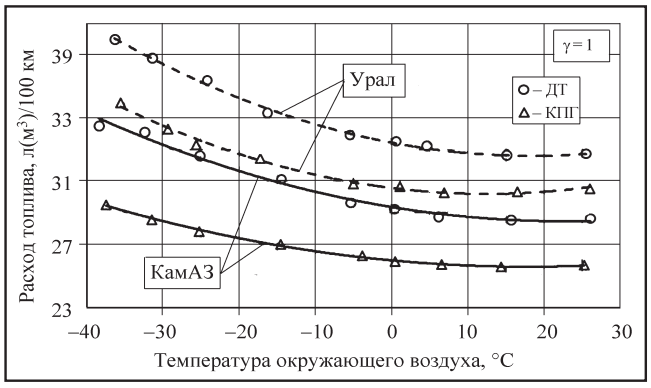

Рис. 1. *Влияние температуры окружающего воздуха на расход топлива автомобилей*

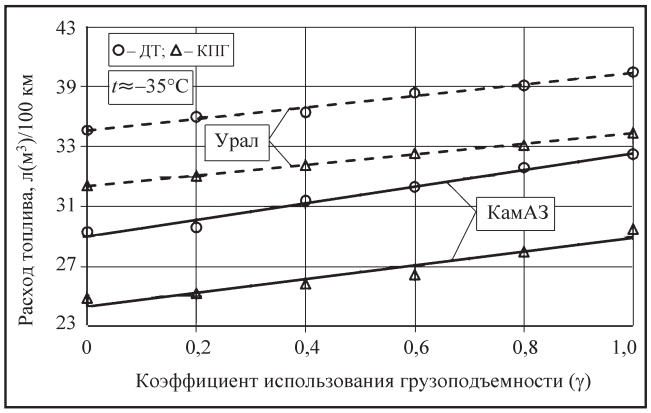

Рис. 2. *Влияние массы перевозимого груза на расход топлива автомобилей*

В результате обработки экспериментальных данных на ПЭВМ с использованием программных пакетов Microsoft Excel и Regress 2.5 по влиянию температуры окружающего воздуха и массы перевозимого груза на расход топлива были получены графические зависимости, которые представлены на рис. 1 и 2. Математические модели, описывающие данные закономерности с численными значениями их параметров, имеют вид:

– КамАЗ-5320:

$$G_{ДТ} = 23{,}39 + 2{,}17 \cdot 10^{-3}(t_{опт} - t_ф)^2 + 5{,}06γ,\ л/100\ км; \quad (2)$$

$$G_{КПГ} = 21{,}02 + 1{,}46 \cdot 10^{-3}(t_{опт} - t_ф)^2 + 4{,}61γ,\ м^3/100\ км; \quad (3)$$

– Урал-4320:

$$G_{ДТ} = 28{,}84 + 2{,}93 \cdot 10^{-3}(t_{опт} - t_ф)^2 + 3{,}84γ,\ л/100\ км; \quad (4)$$

$$G_{КПГ} = 26{,}75 + 2{,}61 \cdot 10^{-3}(t_{опт} - t_ф)^2 + 3{,}52γ,\ м^3/100\ км. \quad (5)$$

Величина запальной дозы ДТ при работе автомобилей по газодизельному циклу в диапазоне температур окружающего воздуха от +26,2 до –38,3 °С, коэффициента использования грузоподъемности от 0 до 1 изменялась от 0,1 до 0,3 л/100 км, поэтому на графических зависимостях было принято ее не указывать.

При понижени температуры воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, ухудшается процесс смесеобразования и интенсификации сгорания ДТ, а полнота сгорания КПГ, напротив, остается практически неизменной. Поэтому расход ДТ в диапазоне температур окружающего воздуха от 0 до –38,3 °С увеличивается по сравнению с расходом КПГ.

Численные значения коэффициентов множественной корреляции для моделей (9–20) составили 0,92–0,98, коэффициентов детерминации – 0,93–0,96, что указывает на достаточную полноту учета факторов в моделях. Значения дисперсионного отношения Фишера, полученные на основе экспериментальных данных, больше табличных значений F-критерия для доверительной вероятности 0,95, что свидетельствует об адекватности многофакторных моделей результатам эксперимента. Таким образом, обработка результатов экспериментальных исследований позволила подтвердить адекватность установленных математических моделей и определить численные значения входящих в них параметров.

В настоящее время для грузовых бортовых автомобилей и автопоездов нормируемое значение расхода топлива рассчитывается согласно Рекомендациям Минтранса [4] по формуле:

$$Q_{\text{н}} = 0{,}01(H_{san}S + H_w G_{\text{гр}} S_{\text{гр}})(1 + 0{,}01D),\ \text{л}(\text{м}^3), \quad (6)$$

где $Q_{\text{н}}$ – нормативный расход топлива, л; S – пробег автомобиля или автопоезда, км; H_{san} – норма расхода топлив на пробег автомобиля или автопоезда в снаряженном состоянии без груза, л(м^3)/100 км ; H_w – норма расхода топлив на транспортную работу, л(м^3)/100 т-км ; $G_{\text{гр}}$ – масса груза, т; $S_{\text{гр}}$ – пробег с грузом, км; D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме, %.

В качестве недостатка можно отметить, что действующая система расчета нормируемого значения расхода топлива не учитывает величину приспособленности автомобилей к понижению температуры окружающего воздуха и массе перевозимого груза по расходу топлива.

В методике отсутствует точное определение нормы расхода топлива на выполнение транспортной работы, оговаривается, что для грузовых бортовых автомобилей и автопоездов, выполняющих работу, учитываемую в тонно-километрах, дополнительно к базовой норме, норма расхода топлив увеличивается (из расчета в литрах на каждую тонну груза на 100 км пробега) в зависимости от вида используемых топлив: для ДТ – до 1,3 л; КПГ – до 2 м^3; при газодизельном питании ориентировочно – до 1,2 м^3 природного газа и до 0,25 л дизельного топлива. Также указывается, что возможно определение нормы расхода топлива на выполнение транспортной работы с использованием точных расчетов, выполняемых по специальной программе-методике непосредственно для каждой конкретной марки, модификации и типа автотранспортного средства.

В связи с этим, на основании проведенных исследований, нормируемое значение расхода топлива газодизельных автомобилей предлагается определять по следующей формуле:

$$Q_{\text{н}} = 0{,}01\left(H_{san}S + \frac{G_{\text{т}} - H_{san}}{Q_{\text{авт}}} G_{\text{гр}} S_{\text{гр}} \right) \times \times \left(1 + 0{,}01 \sum_{i=1}^{n-1} D_i \right),\ \text{л}(\text{м}^3), \quad (7)$$

где $G_{\text{т}}$ – расход топлива, вычисленный по зависимости (формулы 2–5); $Q_{\text{авт}}$ – грузоподъемность автомобиля, т; $\sum_{i=1}^{n-1} D_i$ – суммарная относительная надбавка, учитывающая условия работы автомобиля за вычетом надбавки, связанной с температурой окружающего воздуха, %.

Выводы

1. Решена научно-практическая задача повышения эффективности эксплуатации ГДА на основе выявления и практического использования закономерностей влияния НУ эксплуатации и массы перевозимого груза на расход топлива.

2. Установлены закономерности влияния температуры окружающего воздуха и массы перевозимого груза на расход топлива ГДА в НУ эксплуатации, описываемые двухфакторными аддитивными моделями приспособленности.

3. Экономический эффект от внедрения результатов исследования для автомобиля КамАЗ-5320 составляет в условиях представительного пункта умеренно-холодного климатического района (г. Тюмень) при эксплуатации по дизельному циклу – 8042 руб., по газодизельному циклу – 9726 руб. на один автомобиль в течение зимнего периода (5,5 мес. при среднем пробеге 50 000 км); для автомобиля Урал-4320 при эксплуатации по дизельному циклу – 6292 руб., по газодизельному циклу – 8317 руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т.** Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха. Уч. пос. Тюмень: ТГУ, 1985. 100 с.

2. **ГОСТ 20306–90.** Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1991.

3. **Руководящий** документ РД 3112199-1095-03. Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе.

4. **Методические** рекомендации Минтранса РФ "Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте" № АМ-23-р от 14.03.2008 г.

УДК 621.436

ГОРЧИЧНОЕ МАСЛО КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДОБАВКА К НЕФТЯНОМУ ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ

В.А. Марков, д-р техн. наук;
Са Бовэнь, В.А. Неверов, МГТУ им. Н.Э. Баумана;
С.А. Зыков, канд. техн. наук, МСХА им. К.А. Тимирязева

Показаны преимущества использования топлив растительного происхождения в качестве моторных топлив. Рассмотрены возможные пути использования горчичного масла в качестве топлива для дизеля. Приведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С, работающего на смесях дизельного топлива и горчичного масла различного состава. Подтверждена возможность улучшения показателей токсичности отработавших газов при использовании этих смесей в качестве топлива для автомобильных и тракторных дизелей.

Ключевые слова: дизельный двигатель; нефтяное дизельное топливо; альтернативное топливо; растительное масло; рапсовое масло; горчичное масло; смесевое биотопливо.

MUSTARD OIL AS AN ECOLOGICAL ADDITIVE TO PETROLEUM DIESEL FUEL

Markov V.A., Dr. of technical sciences; **Sa Bowen', Neverov V.A.,** MGTU im. N.E. Baumana;
Zykov S.A., Ph.D. of technical sciences, MSHA im. K.A. Timiryazeva, Moscow

Advantages of using fuels of vegetable origin as motor fuels are shown. Experimental research of diesel engine D-245.12S functioning on mixtures of diesel fuel and mustard oil of various percentage is given. Possible ways of using mustard oil as fuel for a diesel engine are considered. An opportunity of improving characteristics of exhaust gases toxicity by using these mixtures as a fuel for automobile and tractor diesel engines is demonstrated.

Keywords: diesel engine; petroleum diesel fuel; alternative fuel; vegetable oil; rapeseed oil; mustard oil; biofuel mixture.

Истощение мировых запасов нефти, нарастающий дефицит нефтепродуктов, повышение цен на нефтяные моторные топлива, ужесточающиеся требования к токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей обусловливают все более широкое применение на транспорте и в других областях экономики различных альтернативных моторных топлив [1–3]. При этом в связи с поэтапным введением более жестких норм на выбросы вредных веществ с ОГ дизелей транспортного и автотракторного назначения и необходимостью выполнения ограничений на токсичность их ОГ экологические показатели двигателей внутреннего сгорания становятся приоритетными [4, 5].

Среди альтернативных моторных топлив наиболее привлекательными представляются топлива, получаемые из возобновляемых сырьевых ресурсов – биотоплива растительного происхождения [6–8]. Применительно к дизелям автотракторного типа в качестве перспективных энергоносителей рассматриваются топлива, производимые из растительных масел [8, 9]. Это объясняется возобновляемостью сырьевой базы для их получения, простотой и экологичностью процесса производства растительных масел, их сравнительно невысокой стоимостью и приемлемой воспламеняемостью в условиях камеры сгорания (КС) дизеля. В связи с этим возможна работа дизелей на указанных биотопливах без существенных конструкционных изменений двигателей и их систем.

Привлекательность указанных биотоплив обусловлена и возможностью сокращения выбросов в окружающую среду углекислого газа (диоксида углерода) CO_2, поскольку в этом случае осуществля-

ется кругооборот кислорода и углекислого газа в атмосфере. Эта проблема стоит очень остро – в настоящее время в атмосферу ежегодно выбрасывается более 25 млн т углекислого газа, а к 2020 г. ежегодные выбросы CO_2 в атмосферу достигнут 35 млн т [9]. Углекислый газ не оказывает токсического действия на организм человека, но при его повышенном содержании в атмосфере создается парниковый эффект, приводящий к так называемому тепловому загрязнению окружающей среды. Вследствие этого повышается температура воздуха в нижних слоях атмосферы, происходит глобальное потепление, особенно заметное в крупных городах, наблюдаются различные климатические аномалии. Кроме того, повышение содержания в атмосфере CO_2 способствует образованию озоновых дыр. При снижении концентрации озона в атмосфере повышается отрицательное воздействие жесткого ультрафиолетового излучения на организм человека. По экспертным оценкам за период бурного развития промышленности (за последние 50–80 лет) произошло удвоение концентрации углекислого газа в атмосфере земли (рис. 1). По прогнозам к 2100 г. температура воздуха атмосферы повысится на 1–3,5 °С [10]. Решение этой проблемы возможно путем замены ископаемых сырьевых ресурсов топливами растительного происхождения, в частности – растительных масел. Использование таких биотоплив позволит решить проблему снижения выбросов в атмосферу углекислого газа, являющегося основным парниковым газом.

При использовании биотоплив, как правило, улучшаются и показатели токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей ОГ, т.е. снижаются выбросы в атмосферу нормируемых токсичных компонентов – оксидов азота NO_x, монооксида углерода CO, легких несгоревших углеводородов CH_x, сажи (ее выброс характеризуется также дымностью ОГ). Сажа (углерод С) является основным компонентом нормируемых твердых частиц, содержащихся в ОГ. Кроме того, растительные масла сами по себе нетоксичны и быстро разлагаются в естественных условиях. Они не содержат серы, окисляющейся в цилиндрах двигателя до диоксида SO_2 и триоксида SO_3. Эти оксиды соединяются с парами воды атмосферы с образованием сернистой H_2SO_3 и серной H_2SO_4 кислот, которые являются причиной возникновения кислотных дождей. В отличие от нефтяных моторных топлив растительные масла

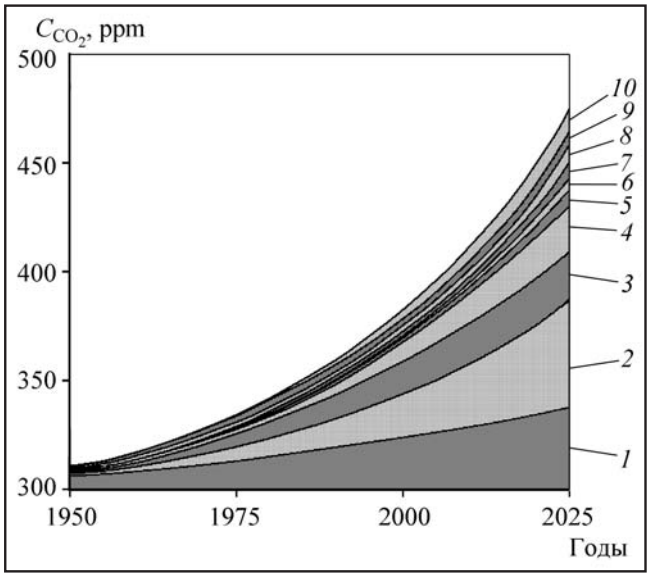

Рис. 1. *Динамика и прогноз изменения содержания CO_2 в атмосфере по регионам:*
1 – США и Канада; *2* – бывший Советский Союз и восточная Европа; *3* – Западная Европа; *4* – Китай и соседние страны; *5* – Дальний Восток; *6* – Австралия и Новая Зеландия; *7* – Ближний Восток; *8* – Центральная и Южная Америка; *9* – Африка; *10* – Южная Азия

не содержат в своем составе полициклических ароматических углеводородов (в частности, наиболее опасного из них – бенз(а)пирена $C_{20}H_{12}$), которые адсорбируются на пористых частицах сажи ОГ и вызывают онкологические заболевания.

Источником растительных масел служат масличные культуры, в разных частях которых, главным образом в семенах или плодах, содержатся растительные жиры. При этом следует отметить следующую особенность рынка растительных масел в России. Если в мировом производстве масел наиболее значимыми являются пальмовое и соевое масла, то в отечественной масложировой промышленности ведущее место занимает производство подсолнечного (86,84 % от всего производства масел), соевого (7,96 %), рапсового (4,84 %), горчичного (0,11 %), кукурузного (0,04 %) и льняного (0,03 %) растительных масел [11].

В настоящее время в странах Европы основной масличной культурой, используемой для выработки биотоплив, является рапс [8, 9, 12, 13]. Рапсовое масло (РМ) рассматривается в качестве основной сырьевой базы для производства моторных топлив и в России. Но поскольку горчица является четвертой по важности в России масличной культурой после подсолнечника, рапса и сои, определенный

интерес представляет использование горчичного масла (ГМ) в качестве моторного дизельного топлива.

Горчица является растением семейства крестоцветных, к которому относятся такие известные сельскохозяйственные культуры, как капуста, редька, редис, репа, турнепс, хрен, рапс, рыжик и др. Горчичное масло получают из семян горчицы путем прессования либо экстракции семян. Следует отметить, что физико-химические свойства горчичного масла зависят от сорта масличной культуры, условий ее выращивания и технологии переработки.

Некоторые физико-химические свойства различных растительных масел приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что свойства ГМ очень близки к свойствам наиболее распространенных растительных масел – рапсовому, подсолнечному

Таблица 1

Физико-химические свойства растительных масел

Свойства	Масла							
	рапсовое	подсолнечное	соевое	пальмовое	оливковое	хлопковое	арахисовое	горчичное
Плотность при 20 °С, кг/м^3	916	923	924	918	914	919	917	918
Вязкость кинематическая (мм^2/с) при температуре, °С:								
20	75,0	65,2	–	–	–	–	81,5	68,7
40	36,0	30,7	32,0	–	–	–	36,5	–
100	8,1	7,4	7,7	8,6	8,4	7,7	8,3	–
Цетановое число	36	33	50	49	–	–	37	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	12,6	12,4	12,4	12,6	–	12,4	12,8	–
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	37,3	37,0	36...39	37,1	–	–	37,0	37,5
Температуры, °С:								
самовоспламенения	318	320	318	315	285	316	–	350
застывания	–20	–16	–12	30	–12	–18	–	–
Массовая доля серы, %	0,002	–	–	–	–	–	–	0,06
Массовая доля углерода, водорода и кислорода в молекуле, %:								
С	78,0	77,6	77,5	77,6	–	77,1	78,0	77,2
Н	10,0	11,5	11,5	12,0	–	11,7	12,3	12,1
О	1,0	10,9	11,0	11,4	–	11,2	9,7	10,7
Кислотность, мг КОН / 100 мл топлива	4,66	2,14	0,03	0,17	5,90	0,23	–	–

Таблица 2

Жирнокислотный состав горчичного масла

Кислота	Структура	Массовая доля, %
Миристиновая	С 14:0	0,063
Пальмитиновая	С 16:0	2,377
Пальмитолеиновая	С 16:1	0,180
Маргариновая	С 17:0	0,018
Маргаринолеиновая	С 17:1	0,043
Стеариновая	С18:0	1,253
Олеиновая	С18:1	25,156
Линолевая	С 18:2	14,459
Линоленовая	С 18:3	15,451
Арахиновая	С 20:0	1,338
Гадолеиновая	С 20:1	0,423
Генэйкозановая	С 21:0	0,838
Эруковая	С 22:1	36,709
Докозадиеновая	С 22:2	0,286
Нервоновая	С 24:1	1,405

Примечание. После названия жирной кислоты приведена условная формула состава, в которой первая цифра соответствует числу атомов углерода, а вторая – числу двойных связей в молекуле.

и др. Жирные кислоты, являющиеся основным компонентом ГМ, представляют собой высокомолекулярные кислородсодержащие соединения с углеводородным основанием [14, 15]. Обычно ГМ имеет около 60 % мононенасыщенных жирных кислот, содержит 21 % полиненасыщенных жирных кислот, включает до 12 % насыщенных жиров. Содержание различных жирных кислот в ГМ приведено в табл. 2 [16]. Поскольку структурные формулы жирных кислот ГМ и углеводородов нефтяного дизельного топлива подобны, ГМ может применяться в качестве моторного топлива для дизелей.

В качестве топлива для дизелей возможно применение чистого ГМ, но оно сдерживается отличиями свойств нефтяного ДТ и ГМ. Более тяжелый по сравнению с нефтяным ДТ фракционный состав, высокая вязкость ГМ, повышенная температура самовоспламенения вызывают ряд проблем, особенно на режимах работы дизеля с низкими частотой вращения и нагрузкой. Среди этих проблем затрудненный холодный пуск двигателя, затрудненное самовоспламенение, коксовые отложения на деталях КС, закоксовывание форсунок, прихватывание поршневых колец, загрязнение смазочного масла и др. [17, 18]. Из горчичного масла можно получить метиловый, этиловый или бутиловый эфиры, которые могут быть использованы в качестве либо самостоятельных топлив, либо в смесях с нефтяными топливами. В сельской местности, где отсутствует инфраструктура для производства указанных эфиров, наиболее привлекательным способом применения ГМ в качестве моторного топлива представляется работа дизеля на смесях ДТ и ГМ с небольшим содержанием последнего [19]. При этом следует отметить, что содержание в молекулах растительных масел значительного количества атомов кислорода (обычно 10–12 % по массе) позволяет использовать эти масла в качестве кислородсодержащих присадок (оксигенатов) к нефтяному дизельному топливу (ДТ), значительно улучшающих его экологические свойства. Эти два компонента хорошо смешиваются в любых пропорциях, образуя стабильные смеси.

Известны работы, посвященные оценке возможности использования горчичного масла в качестве дизельного ДТ или добавки к нефтяному ДТ [20–24]. Вместе с тем неисследованной является проблема выбора оптимальной величины добавки ГМ к ДТ. Для оценки возможности использования ГМ в качестве экологической добавки к нефтяному дизельному топливу и определения оптимальной величины этой добавки проведены экспериментальные исследования дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода (ММЗ), устанавливаемого на малотоннажные грузовые автомобили ЗиЛ-5301 ("Бычок"), автобусы Павловского моторного завода (ПАЗ) и тракторы "Беларусь". Некоторые параметры исследуемого дизеля приведены в табл. 3.

При экспериментальных исследованиях проведена оценка показателей токсичности ОГ и топ-

Таблица 3

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

Параметры	Значение и характеристики	Параметры	Значение и характеристики
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный	Система охлаждения	Водяная, принудительная
Число цилиндров	4	Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Диаметр цилиндра, мм	110	Фильтр масляный	Сетчатый
Ход поршня, мм	125	Насос масляный	Шестеренчатый
Рабочий объем цилиндра, л	1,08	Система питания	Разделенного типа
Общий рабочий объем, л	4,32	Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа PP4V10U1f фирмы Motorpal с всережимным центробежным регулятором
Степень сжатия	16,0	Диаметр плунжеров ТНВД, мм	10
Система турбонаддува	Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов	Ход плунжеров ТНВД, мм	10
Тип камеры сгорания (КС), способ смесеобразования	КС типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование	Длина нагнетательных топливопроводов, мм	540
Номинальная частота вращения, мин$^{-1}$	2400	Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО "Куроаппаратура" (Литва)
Номинальная мощность, кВт	80	Распылители форсунок	Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p = 0{,}34$ мм и проходным сечением $\mu_p f_p = 0{,}25$ мм^2
Литровая мощность, кВт	18,5	Давление начала впрыскивания форсунок, МПа	21,5
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов		

ливной экономичности дизеля при его работе на нефтяном ДТ марки "Л" по ГОСТ 305-82 и на смесевом топливе, содержащем добавку ГМ. Некоторые параметры физико-химических свойств исследуемых ДТ и его смесей с ГМ приведены в табл. 4. Там же для сравнения приведены свойства рапсового масла, исследованного в работах [8, 9]. Дизель исследован на моторном стенде на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил № 49 ЕЭК ООН с установочным углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ)

Таблица 4

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Свойства	Топлива				
	ДТ	РМ	ГМ	Смесь 95 ДТ и 5 % ГМ	Смесь 90 % ДТ и 10 % ГМ
Плотность при 20 °С, кг/м^3	830,0	916,0	920,0	835	839
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм^2/с	3,8	75,0	70,0	5,0	7,0
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	33,1	–	–
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	37 200	42 100	41 900
Цетановое число	45	36	35	–	–
Температура самовоспламенения, °С	250	318	320	–	–
Температура помутнения, °С	–25	–9	–8	–	–
Температура застывания, °С	–35	–20	–18	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,16	12,50	12,44	14,19	14,11
Содержание, % по массе:					
С	87,0	77,0	77,1	86,5	86,0
Н	12,6	12,0	11,8	12,5	12,5
О	0,4	11,0	11,1	1,0	1,5
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	0,002	0,190	0,180

Примечание. "–" – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов.

$\theta = 13°$ поворота коленчатого вала до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки (упора максимальной подачи топлива). Моторный стенд был оборудован необходимой измерительной аппаратурой. Концентрации NO_x, CO, CH_x в ОГ измерялись газоанализатором типа SAE-7532 японской фирмы Yanaco с погрешностями измерения ±1 %. Дымность определялась ручным дымомером МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью измерения ±1 %.

На первом этапе исследований проведены испытания дизеля Д-245.12С на режимах ВСХ с максимальной подачей топлива на чистом ДТ и на смесях смесях ДТ и ГМ с содержанием последнего 5 и 10 % по массе. Эти смесевые биотоплива имеют физические свойства, близкие к свойствам нефтяного ДТ, но их плотность и вязкость все-таки несколько выше (см. табл. 4). Поэтому при переходе от ДТ к исследуемому смесевому биотопливу отмечено небольшое увеличение часового расхода топлива $G_т$ и некоторое уменьшение коэффициента избытка воздуха α. Однако крутящий момент дизеля и его эффективная мощность изменились незначительно (рис. 2 и табл. 5).

Наличие в молекулах ГМ атомов кислорода привело к заметному уменьшению дымности ОГ при работе дизеля на исследуемом смесевом биотопливе. Переход с ДТ на исследуемые смеси на

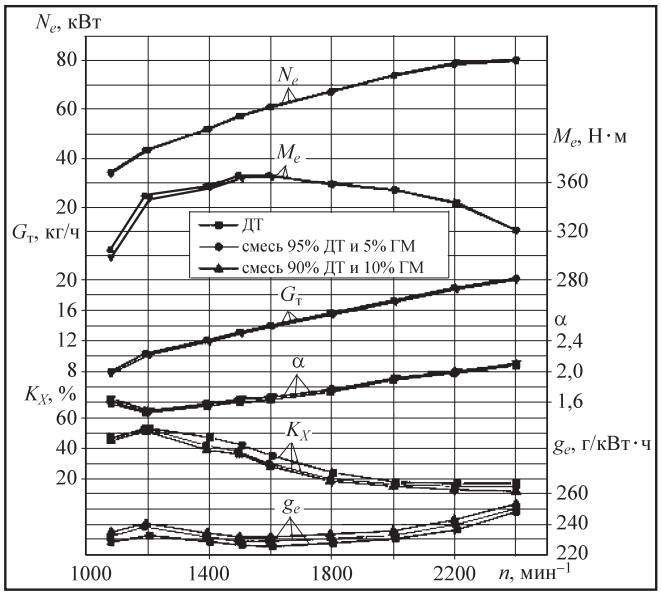

Рис. 2. *Зависимость эффективной мощности N_e, крутящего момента M_e, расхода топлива G_m, коэффициента избытка воздуха а, дымности ОГ K_X и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля типа Д-245.12С на режимах ВСХ*

режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента сопровождался снижением дымности ОГ от 10 до 30 % (см. табл. 5).

На втором этапе исследований дизель испытывался на режимах 13-режимного цикла норм *ECE R49*. Этот испытательный цикл (рис. 3) включает 13 установившихся режимов: три режима холостого хода с минимальной частотой вращения n = = 0,25–0,3 $n_{ном}$ (всего 25 % времени работы), пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100 % нагрузки) при номинальной частоте вращения $n_{ном}$ и пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100 % нагрузки) при частоте вращения n_{Mmax} = 0,6–0,7 $n_{ном}$, соответствующей максимальному крутящему моменту. Доля номинального режима составляет 10 % от общего времени работы, а доля режима максимального крутящего момента – 25 %.

Результаты экспериментальных исследований дизеля типа Д-245.12С на режимах 13-режимного испытательного цикла *ECE R49* представлены на рис. 4. Как отмечено выше, использование рассматриваемых смесевых биотоплив привело к незначительному увеличению часового расхода топлива $G_т$. Однако при переводе дизеля с нефтяного ДТ на рассматриваемые смесевые биотоплива такое увеличение расхода топлива $G_т$ не превысило 1,7 % (см. рис. 4, *а*).

При использовании рассматриваемых смесевых биотоплив отмечена тенденция снижения в ОГ концентрации в ОГ оксидов азота CNO_x (рис. 4, *б*) и

Таблица 5

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на нефтяном ДТ и его смесях с горчичным маслом

Показатели	Топлива		
	ДТ	Смесь 95 % ДТ и 5 % ГМ	Смесь 90 % ДТ и 10 % ГМ
Часовой расход топлива $G_т$, кг/ч:			
на режиме максимальной мощности	20,10	20,17	20,25
на режиме максимального крутящего момента	13,00	13,13	13,22
Крутящий момент дизеля M_e, Нм:			
на режиме максимальной мощности	321	321	318
на режиме максимального крутящего момента	364	366	363
Удельный эффективный расход топлива g_e, г/(кВт·ч)			
на режиме максимальной мощности	248,2	250,1	253,4
на режиме максимального крутящего момента	226,2	228,9	231,9

Окончание табл. 5

Показатели	Топлива		
	ДТ	Смесь 95 % ДТ и 5 % ГМ	Смесь 90 % ДТ и 10 % ГМ
Эффективный КПД дизеля η_e:			
на режиме максимальной мощности	0,341	0,341	0,339
на режиме максимального крутящего момента	0,374	0,373	0,370
Дымность ОГ КХ, % по шкале Хартриджа:			
на режиме максимальной мощности	17	15	12
на режиме максимального крутящего момента	42	38	36
Интегральные на режимах 13-режимного цикла эффективные показатели двигателя:			
эффективный расход топлива g_e усл, г/(кВт·ч)	244,63	247,17	251,08
эффективный КПД $\eta_{e\,усл}$	0,346	0,346	0,342
Интегральные на режимах 13-режимного цикла удельные массовые выбросы, г/(кВт·ч):			
оксидов азота e_{NO_x}	5,911	5,760	5,689
монооксида углерода e_{CO}	2,184	2,140	2,068
несгоревших углеводородов e_{CH_x}	0,675	0,602	0,561

монооксида углерода ССО (рис. 4, *в*). Основное положительное влияние исследуемых смесевых биотоплив на выбросы газообразных токсичных компонентов ОГ имело место на концентрацию в ОГ несгоревших углеводородов CCH_x (рис. 4, *г*). Особенно оно заметно на режимах с частотой вращения $n = 1500$ мин$^{-1}$.

По приведенным на рис. 4 характеристикам содержания в ОГ газообразных нормируемых токсичных компонентов (NO_x, CO, CH_x) с использованием общепринятых методик рассчитаны их интегральные удельные массовые выбросы на режимах 13-режимного цикла *ECE R49* (соответственно e_{NO_x}, CO, CH_x). При этом на каждом режиме определялись концентрации в ОГ токсичных компонентов (C_{NO_x}, C_{CO}, C_{CH_x}) и рассчитывались их часовые массовые выбросы (E_{NO_x}, E_{CO}, E_{CH_x}). Полученные значения вредных выбросов суммировались за весь цикл по каждому компоненту (с учетом весовых коэффициентов K_i) и затем делением на условную среднюю мощность дизеля за испытательный цикл

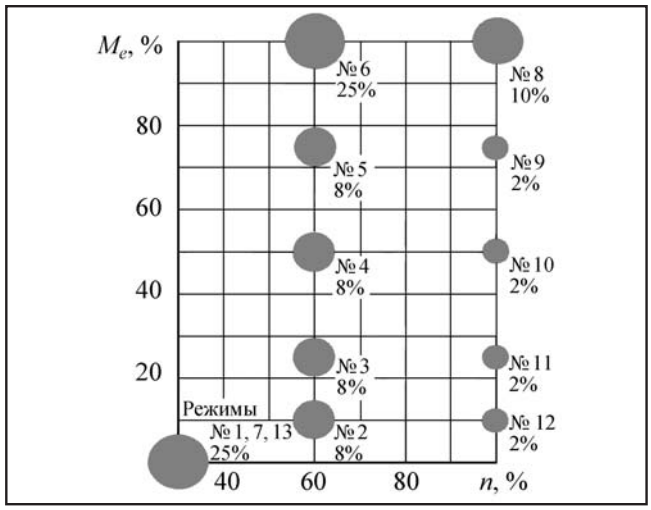

Рис. 3. *Европейский 13-режимный цикл (нормы ECE R49) для оценки токсичности ОГ дизелей общей массой более 3,5 т в стендовых условиях: возле каждого режима указаны его номер и доля работы дизеля на этом режиме в процентах (далее эта доля используется в относительных единицах K_i)*

$\Sigma(N_{ei} K_i)$ определялись удельные выбросы вредных веществ по формулам [8, 9]:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{NO_{xi}} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e\,i} K_i},$$

$$e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CO\,i} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e\,i} K_i},$$

$$e_{CH_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CH_{xi}} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e\,i} K_i}.$$

Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-режимного цикла проведена по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [8, 9]

$$g_{e\,усл} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{т\,i} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e\,i} K_i},$$

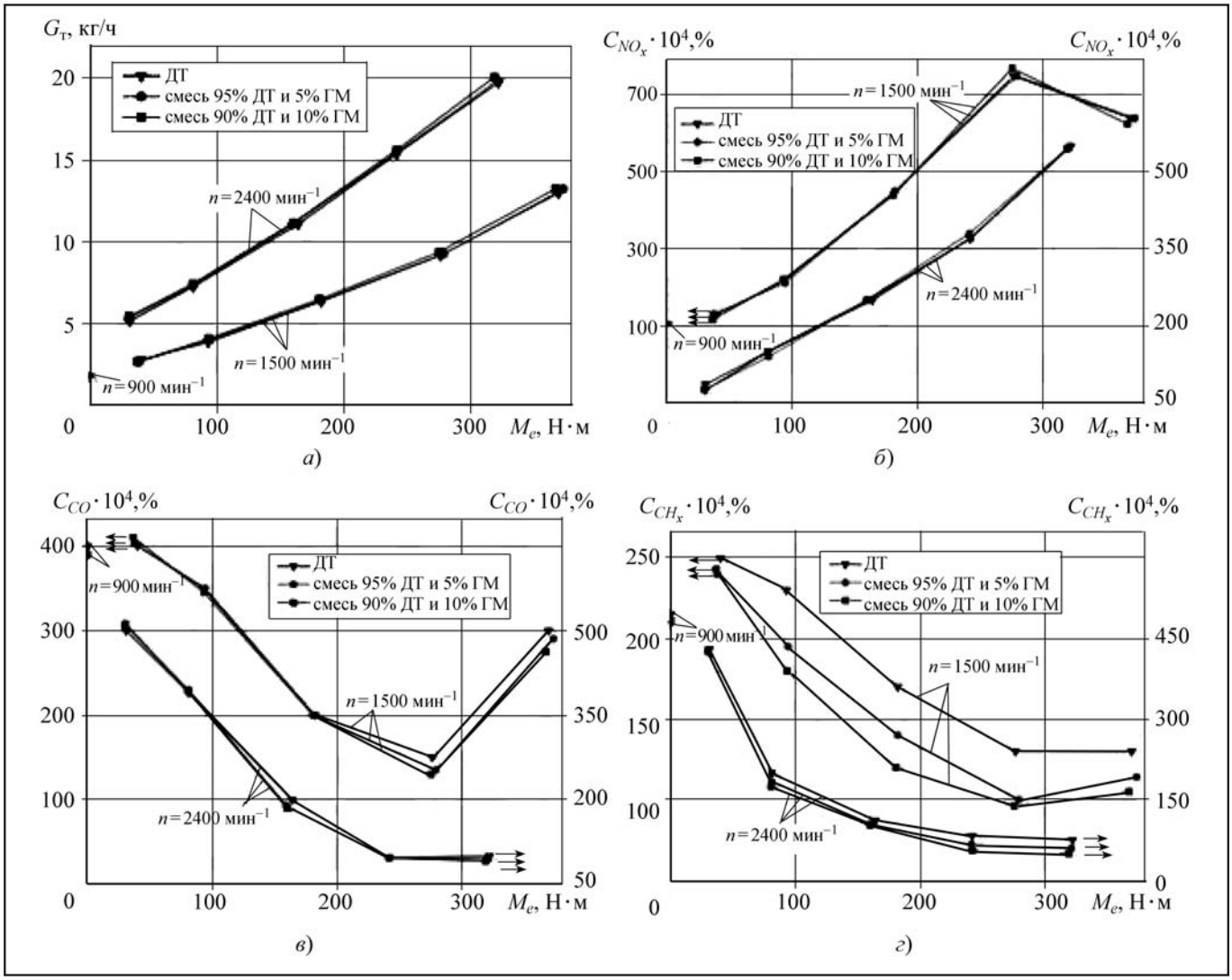

Рис. 4. *Зависимость часового расхода топлива G_m (а), объемных концентраций в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводородов C_{CH_x} (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля типа Д-245.12С при использовании различных топлив:*
1 – ДТ; *2* – смесь 80 % ДТ и 20 % СМ

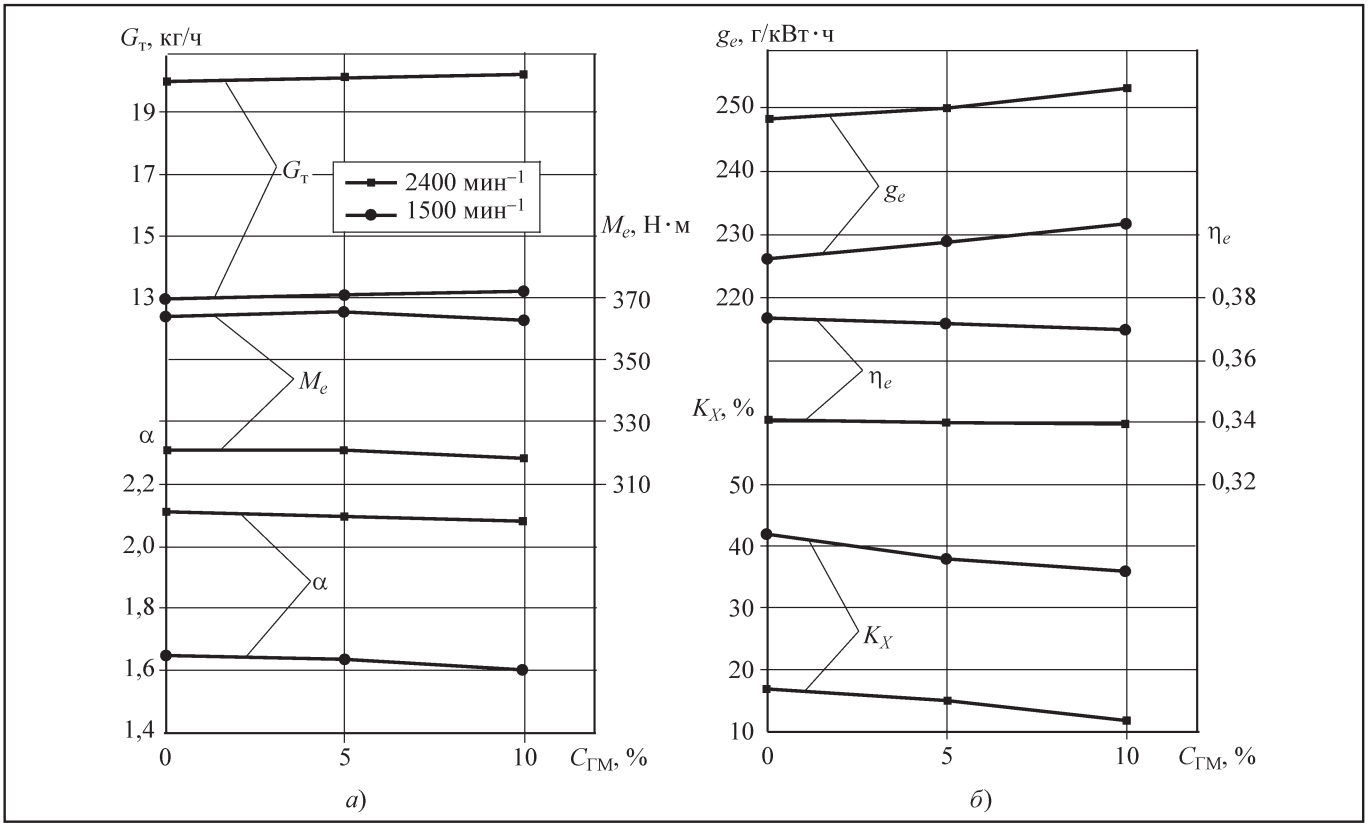

Рис. 5. *Зависимость часового расхода топлива G_m, крутящего момента M_e и коэффициента избытка воздуха a (а), удельного эффективного расхода топлива g_e, эффективного КПД η_e и дымности ОГ K_X на режимах ВСХ (б) дизеля типа Д-245.12С от содержания горчичного масла смесевом биотопливе $C_{ГМ}$*

где $G_{т\,i}$ и $N_{e\,i}$ – часовой расход топлива и эффективная мощность двигателя на *i*-м режиме; K_i – весовой коэффициент режима (доля времени этого режиме). Топливная экономичность дизеля при его работе на исследуемых топливах оценивалась не только удельным эффективным расходом топлива g_e, но и эффективным КПД η_e. Причем для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-режимного цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e\,усл} = \frac{3600}{H_U g_{e\,усл}},$$

где H_U – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг. Результаты расчетов указанных параметров представлены в табл. 5 и на рис. 5 и 6.

Приведенные в табл. 5 и на рис. 5, 6 данные подтверждают возможность улучшения экологических показателей дизеля типа Д-245.12С при его переводе с ДТ на исследуемые смеси. Такое улучшение экологических показателей при использовании

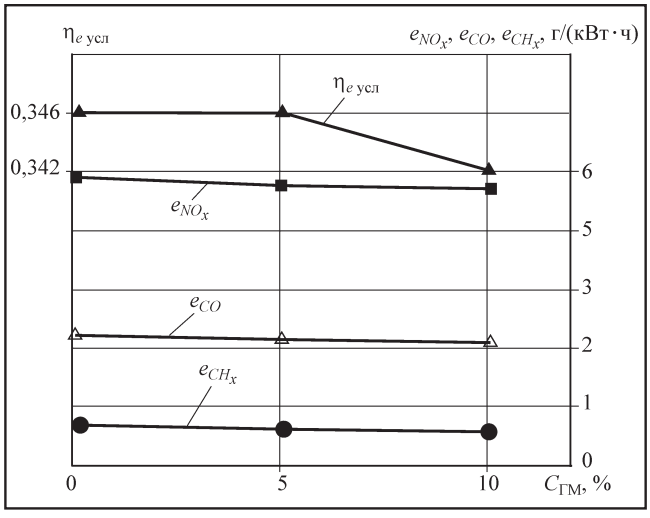

Рис. 6. *Зависимость условного эффективного КПД $\eta_{e\,усл}$, удельных массовых выбросов с ОГ оксидов азота e_{NO_x}, монооксида углерода e_{CO}, несгоревших углеводородов e_{CH_x} с ОГ дизеля типа Д-245.12С на режимах 13-режимного испытательного цикла от содержания горчичного масла смесевом биотопливе $C_{ГМ}$*

смесей ДТ и ГМ получено без изменения конструктивных и регулировочных параметров дизеля типа Д-245.12С. Для достижения еще большего снижения выбросов токсичных компонентов ОГ и улучшения показателей топливной экономичности дизеля при его адаптации к работе на биотопливах необходимо совершенствование конструкции. В частности, целесообразно совершенствование проточной части распылителей форсунок для уменьшения длины струй топлива и их согласование с формой КС, а также уточнение регулировочных параметров дизеля (в первую очередь – уточнение значений УОВТ и организация его регулирования при изменении свойств топлива).

Другим путем улучшения показателей дизеля состава смесей ДТ и ГМ является оптимизация состава смесевого биотоплива. Следует отметить, 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, и задача выбора оптимального состава топлива становится многокритериальной оптимизационной задачей. Для решения задачи определения оптимального состава смесевых топлив в работе [25] предложена методика оптимизации, которая базируется на составлении обобщенного критерия оптимальности J_o в виде суммы четырех частных критериев, характеризующих эмиссии двух основных токсичных компонентов ОГ – оксидов азота NO_x и дымности ОГ K_x на двух основных режимах – режиме максимальной мощности и максимального крутящего момента (соответственно $J_{NO_x N_{max}}$, $J_{NO_x M_{max}}$, $J_{K_x N_{max}}$, $J_{NO_x M_{max}}$). При этом обобщенный критерий оптимальности J_o удобно использовать в относительном виде:

$$\bar{J}_o = J_{oi} / J_{o\,дт},$$

где $\bar{J}_o$ – относительный обобщенный критерий оптимальности; J_{oi} – обобщенный критерий оптимальности при работе на топливе i-го состава; $J_{o\,дт}$ – обобщенный критерий оптимальности при работе на нефтяном ДТ. Результаты оптимизации состава смесей нефтяного ДТ с ГМ по этой методике приведены в табл. 6.

Результаты проведенных оптимизационных расчетов показывают, что для дизеля типа Д-245.12С оптимальное содержание ГМ в смеси с нефтяным ДТ равно $C_{ГМ} = 10$ % (в рассматриваемом диапазоне изменения содержания ГМ в смеси с ДТ). При таком составе биотоплива достигается минимум обобщенного критерия оптимальности $\bar{J}_o = 0{,}883$. В этом случае обеспечиваются минимальный выброс оксидов азота $e_{NO_x} = 5{,}689$ г/(кВт·ч), монооксида углерода $e_{CO} = 2{,}068$ г/(кВт·ч), несгоревших углеводородов $e_{CH_x} = 0{,}561$ г/(кВт·ч) и минимальная дымность ОГ K_X, (12 и 36 % по шкале Хартриджа, соответственно на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента, см.

Таблица 6

Результаты оптимизации состава смесей нефтяного ДТ с ГМ для дизеля типа Д-245.12С

Вид топлива	Значения критериев									
	$C_{NO_x N_{max}}$, ppm	$J_{NO_x N_{max}}$	$C_{NO_x M_{max}}$, ppm	$J_{NO_x M_{max}}$	$K_{xN_{max}}$, %	$J_{K_x N_{max}}$	$K_{xM_{max}}$, %	$J_{K_x M_{max}}$	J_o	$\bar{J}_o$
ДТ	550	1,000	640	1,000	17,0	1,000	42,0	1,000	4,000	1,000
95 %ДТ+5 %ГМ	550	1,000	640	1,000	15,0	0,882	38,0	0,905	3,787	0,947
90 %ДТ+10 %ГМ	545	0,991	625	0,977	12,0	0,706	36,0	0,857	3,531	0,883

табл. 5). По мере увеличения состава ГМ в смеси с нефтяным ДТ критерий $\bar{J}_o$ монотонно уменьшается, но его снижение заметно уже при небольшом содержании ГМ в смесевом биотопливе. Это свидетельствует о том, что даже небольшая добавка ГМ в нефтяное ДТ значительно улучшает показатели токсичности ОГ дизеля.

В целом проведенные исследования подтвердили эффективность применения смесей нефтяного ДТ и ГМ в отечественных дизелях и использования предложенной методики оптимизации состава смесевого биотоплива, ее информативность при оценке экологических качеств различных топлив и сравнительно небольшой объем вычислений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лапидус А.Л., Крылов И.Ф., Жагфаров Ф.Г. и др.** Альтернативные моторные топлива. Уч. пос. для вузов. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 288 с.

2. **Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. 311 с.

3. **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.

4. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.

5. **Кульчицкий, А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. Владимир: Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2000. 256 с.

6. **Васильев И.П.** Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. Луганск: Изд-во Восточноукраинского университета им. В. Даля, 2009. 240 с.

7. **Каменев В.Ф., Шатров М.Г., Теренченко А.С., Карпухин К.Е.** Тепловые двигатели установок электро- и теплоснабжения, использующие биотоплива. М.: Изд-во МАДИ, 2014. 92 с.

8. **Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М.** Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ "Инженер" (Союз НИО), 2016. 292 с.

9. **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.

10. **Morgan M.G., Dowlatabadi H.** Energy Technology R@D Essential to Curb Global Warming // Environmental Science & Technology. 1997. Vol. 31. № 12. P. 574A-575A.

11. **Година Е.Д.** Определение теплоты сгорания дизельного смесевого биотоплива из соевого масла // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2013. Т. 10. № 5. С. 25–29.

12. **Ашпина О.** Рапс – культура стратегическая // The Chemical Journal (Химический журнал). 2005. № 9. С. 40–44.

13. **Савельев Г.С.** Производство и использование биодизельного топлива из рапса. М.: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2007. 96 с.

14. **Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.И.** Биоорганическая химия: Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2004. 544 с.

15. **Hamasaki K.,Tajima H.,Takasaki K. et al.** Ultilization of Waste Vegetable Oil Methyl Ester for Diesel Fuel // SAE Technical Paper Series. 2001. № 2001-01-2021. P. 1–12.

16. **Bannikov M.G.** Combustion and emission characteristics of Mustard biodiesel // 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Turkey. 2011. P. 1–5.

17. **Uddin S.M.A, Azad A.K., Alam M.M. et al.** Performance of a Diesel Engine run with Mustard-Kerosene blends // Procedia Engineering, 2015, Vol. 105, P. 698–704.

18. **Yosimoto Y., Onodera A., Tamaki H.** Production and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled by Vegetable Oils // The Society of Automotive Engineers. 2001. No. 2001-01-1807. P. 1–10.

19. **Марков В.А., Девянин С.Н.** Кукурузное масло как противодымная присадка к нефтяным топливам // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 5. С. 6–10.

20. **Уханов А.П., Уханов Д.А., Голубев В.А.** Перспективы использования биотоплива из горчицы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1. С. 88–92.

21. **Уханов А.П., Уханов Д.А., Шемелев Д.С.** Дизельное смесевое топливо: монография. Пенза: РИО Пензенской государственной сельскохозяйственной академии, 2012. 147 с.

22. **Niemi S.A., Illikanen P.E., Laiho V.O.K.** A Tractor Engine Fueled with Mustard Seed Oil: Optimization, Emissions and Practical Experiences // SAE Technical Paper Series. 1997. № 972724. P. 11–25.

23. **Niemi S.A., Hatonen T., Laiho V.O.K**. Results from a Durability Test of a Mustard Seed Oil Driven Tractor Engine // SAE Technical Paper Series. 1998. № 982528. P. 1–15.

24. **Niemi S.A., Murtonen T.T., Lauren M.J., Laiho V.O.K.** Exhaust Particulate Emissions of a Mustard Seed Oil Driven Tractor Engine // SAE Technical Paper Series. 2002. № 2002-01-0866. P. 1–12.

25. **Марков В.А., Девянин С.Н., Шумовский В.А.** Метод оптимизации состава водотопливных эмульсий для дизелей // АГЗК+АТ. 2015. № 11. С. 29–42.

УДК 621.43.057.33

РАБОТА ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ НА ОБВОДНЕННОМ ЭТАНОЛЕ

М.Д. Гарипов, канд. техн. наук; **Р.Ю. Сакулин,** канд. техн. наук;
О.П. Домбровский, Р.Ф. Зиннатуллин, Уфмский ГАТУ, г. УФА

Экспериментально исследована возможность снижения в поршневом ДВС эмиссии оксидов азота на близком к стехиометрическому режиме сгорания, которое реализуется за счет увеличения содержания воды в водном растворе этанола. Установлено, что с ростом количества воды в обводненном этаноле наблюдается существенное снижение уровня эмиссии оксидов азота без падения удельной мощности двигателя.

Ключевые слова: сгорание; обводненный этанол; токсичность; оксиды азота.

RUNNING THE ENGINE WITH SPARK IGNITION AT THE WATERED ETHANOL

Garipov M.D., Ph.D. of technical sciences; **Sakulin R.Yu.,** Ph.D. of technical sciences;
Dombrovski O.P., Zinnatullin R.F., GATU, Ufa

Experimentally studied possibility of decreasing nitrogen oxides emissions in piston ICE at near-stoichiometric combustion mode, which realized because of increasing water content in aqueous ethanol. Defined, what dramatically decreasing of nitrogen oxides emissions take place in accordance with increasing of water content in aqueous ethanol without any engine power decreasing.

Keywords: combustion; aqueous ethanol; toxicity; nitrogen oxides.

Оксиды азота – наиболее токсичный и сложный для нейтрализации компонент отработавших газов. Поэтому в настоящее время основные усилия исследователей сосредоточены на подавлении их образования непосредственно в камере сгорания ДВС. И здесь уже можно выделить двух "лидеров". Это, во-первых, организация рабочего процесса со сжиганием бедных ($\alpha \approx 2$) предварительно перемешанных смесей и, во-вторых, организация процесса со сжиганием обводненных топливовоздушных смесей.

При первом варианте желаемый эффект достигается за счет снижения температуры горения до 1700 K (1427 °C). Реализуется этот принцип, причем успешно, в газотурбинных двигателях. Кроме того, ведутся исследования возможности его реализации в дизелях. Однако работа на режимах полной нагрузки с такими коэффициентами избытка воздуха ведет к существенному снижению удельной мощности дизеля, поэтому данный метод наиболее пригоден для стационарных силовых установок.

Второй вариант, процесс со сгоранием обводненных околостехиометрических топливовоздушных смесей, лишен этого недостатка. Но при нем возникают проблемы, связанные с организацией равномерного распределения воды в зоне горения, так как в противном случае в камере сгорания образуются локальные участки пониженных и повышенных температур, что может свести на нет достоинства этого варианта.

И еще одно. В поршневых ДВС, в отличие от газотурбинных, наряду с проблемой смесеобразования и сгорания обводненных топливовоздушных смесей возникает проблема их воспламенения. В результате до настоящего времени в поршневых двигателях, несмотря на обнадеживающие результаты отдельных работ, например [1, 2], вопрос реализации сгорания околостехиометрических

смесей с таким содержанием воды, которое обеспечивает снижение концентрации оксидов азота до значений, сравнимых с эмиссией при сжигании бедных предварительно перемешанных смесей, остается открытым, и им продолжают заниматься многие. В том числе специалисты кафедры ДВС Уфимского ГАТУ, которые исследуют возможные, с их точки зрения, варианты организации многотопливного рабочего процесса, в рамках которого должно быть реализовано сгорание обводненных околостехиометрических смесей.

Один из таких вариантов – впрыскивание богатой топливовоздушной струи непосредственно в камеру сгорания двигателя и ее воспламенение единичным искровым разрядом, расположенным вблизи ее границ.

Проведенные исследования показали, что такой принцип смесеобразования и воспламенения позволяет зажигать различные (бензин, дизельное топливо, водные растворы этанола) топлива разрядом, формируемым стандартной автомобильной системой зажигания. Причем особый интерес вызвали именно водные растворы этанола. И вот почему.

При сжигании топливоводовоздушных смесей на основе традиционных нефтяных топлив приходится дополнительно решать вопросы, связанные с подачей и распределением воды в камере сгорания. В частности, смесеобразование необходимо организовать так, чтобы предотвратить неравномерное распределение воды в объеме смеси, из-за чего, как сказано выше, образуются зоны с повышенной и пониженной температурами горения. Это, в свою очередь, может привести одновременно к повышенным выбросам и оксидов азота, и продуктов неполного сгорания топлива. Этанол же образует с водой растворы, что фактически решает данную проблему. Кроме того, этанол – одно из наиболее вероятных альтернативных топлив, способных в перспективе заменить нефтяные топлива, а большое содержание воды в его растворе упрощает технологию и значительно снижает энергоемкость его производства [3].

Учитывая все это, задача специалистов кафедры, по существу, сводилась к определению того соотношения воды и этанола, которое будет оптимальным как с точки зрения выброса оксидов азота с отработавшими газами, так и точки зрения мощностных показателей ДВС.

И решить ее удалось: была разработана и экспериментально исследована схема конструктивной

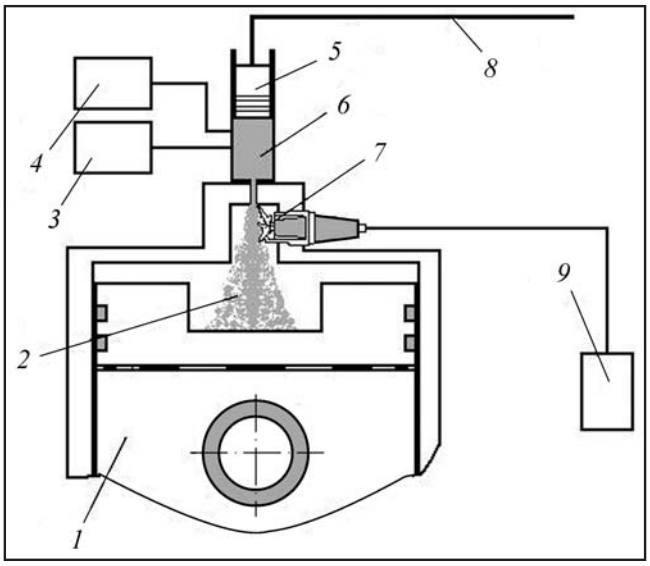

Рис. 1. *Схема конструкции для реализации рабочего процесса:*
1 – поршень; *2* – факел обогащенной топливовоздушной смеси; *3*, *4* – устройства дозирования топлива и воздуха для компрессор-форсунки; *5* – поршень компрессор-форсунки; *6* – компрессор-форсунка; *7* – свеча зажигания; *8* – привод компрессор-форсунки от вала двигателя (условно); *9* – катушка системы зажигания

реализации предлагаемого рабочего процесса (рис. 1).

Согласно этой схеме, топливо с небольшим количеством воздуха поступает в полость компрессор-форсунки *6*, где и происходит предварительное смесеобразование – его подогрев, дробление, перемешивание и частичное испарение. Затем поршень *5* компрессор-форсунки, приводимый в движение от коленчатого вала двигателя, на такте сжатия впрыскивает топливовоздушный факел *2* в рабочую камеру дизеля, в которой топливовоздушная смесь формируется окончательно. Зажигает ее искровой разряд свечи *7* зажигания, причем на периферии топливовоздушного факела.

Компрессор-форсунка оснащен необходимыми устройствами для дозирования топлива (3) и воздуха (4) в зависимости от режима работы двигателя. Система зажигания имеет традиционную конструкцию и параметры разряда, характерные для современных бензиновых двигателей. Кроме того, имеется возможность регулирования углов опережения зажигания и впрыскивания.

Рабочий процесс был реализован на одной секции четырехцилиндрового дизеля Д-65Н (диаметр

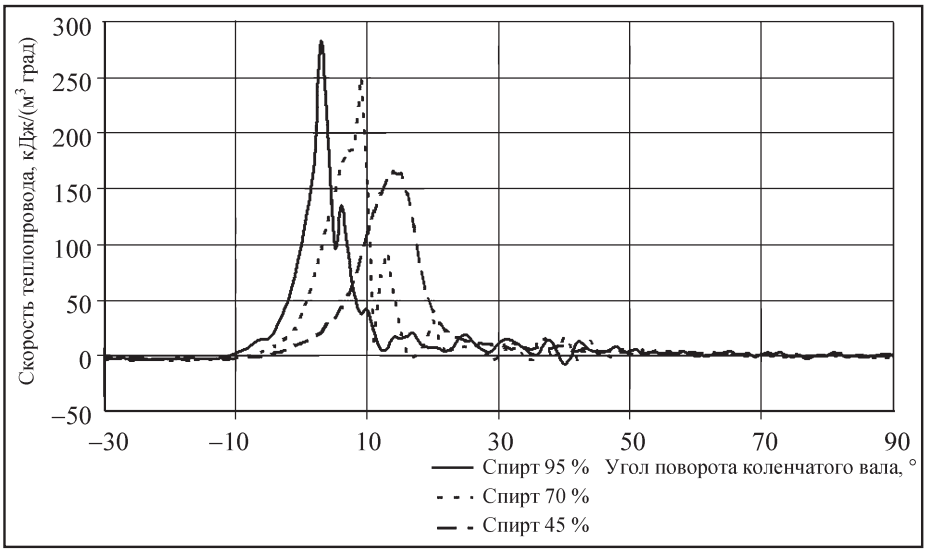

Рис. 2. *Зависимость теплоподвода в цикле экспериментального дизеля от угла поворота коленчатого вала и содержания воды в спиртоводном растворе:*
1 – 95 %; *2* – 70 %; *3* – 45 %

цилиндра 110 мм, ход поршня 130 мм). При этом он был конвертирован в секцию двигателя с искровым зажиганием: штатная форсунка была заменена на компрессор-форсунку, а степень сжатия – снижена со стандартных 17,3 до 12,5.

В экспериментах использовались водные растворы этанола различной концентрации (95, 70, 45 % об.). При работе на каждом варианте топлива, как обычно, снимались индикаторные диаграммы двигателя и определялся состав отработавших газов. Измерения проводились на частоте вращения коленчатого вала двигателя, близкой к частоте вращения при максимальном крутящем моменте (1200 мин$^{-1}$).

В ходе экспериментов установлено следующее.

При концентрациях этанола в топливе, равных 95 и 70 %, трудностей с холодным (T = 293 K, или 20 °C) пуском двигателя не возникает, при концентрации 45 % пуск был надежным лишь на предварительно прогретом двигателе. На режимах, близких к стехиометрическому, содержание кислорода в отработавших газах при работе на 95%-ном этаноле составляло ~1,5 %, что соответствует коэффициенту избытка воздуха $\alpha \approx 1{,}1$.

Полученные при экспериментах кривые изменения скорости $v_{то}$ теплоподвода в зависимости от угла φ поворота коленчатого вала и содержания воды в спиртоводном растворе приведена на рис. 2, а те же зависимости для тепловыделения *Hu* – на рис. 3. Из них видно, что с ростом концентрации воды период интенсивного тепловыделения смещается к концу сгорания (см. рис. 2). Но, несмотря на это, общая продолжительность сгорания существенно не увеличивается. Продолжительность горения в случае 95 % этанола составила 50° п.к.в., в случае 70 % – 48° и в случае 45 % – 54° (см. рис. 3). (За окончание сгорания было принято значение, соответствующее 95 % максимального значения тепловыделения.)

Зависимости среднего индикаторного давления ($p_{i\,ср}$) и эмиссии оксидов азота (NO_x), монооксида (CO) и двуоксида (CO_x) углерода от варианта топлива приведены в таблице. И уровень эмиссии оксидов азота снижается более чем в 8 раз. При этом оказалось, что данное снижение практически не вызывает падения удельной мощности двигателя, контролируемой в экспериментах через среднее индикаторное давление $p_{i\,ср}$.

В экспериментах отмечено также, что с увеличением содержания воды наблюдается снижение эмиссии монооксида углерода, а в то же время с ростом содержания воды в топливе возрастают выбросы углеводородов.

Последнее, с одной стороны, может быть объяснено тем, что используемая аппаратура при высоком содержании водяных паров в отработавших газах не способна адекватно анализировать эмиссию недогоревших углеводородов, поскольку измерительный модуль газоанализатора, который использует инфракрасный метод, "опознает" водяные пары как углеводороды (например, при анализе пробы с чистым водяным паром газоанализатор показал высокий уровень углеводородов. С другой стороны, большие выбросы недогоревших углеводородов могут быть объяснены тем, что камера

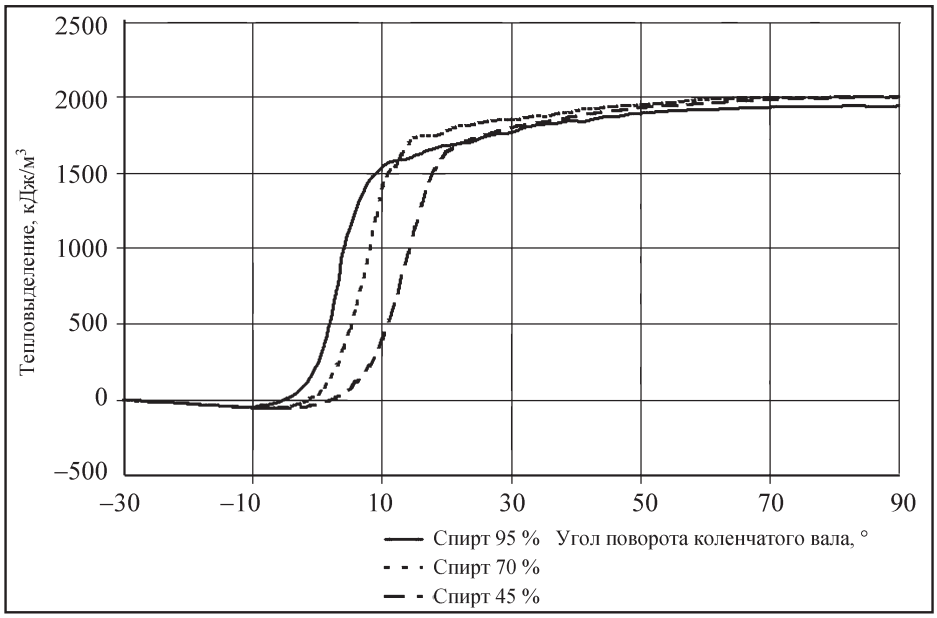

Рис. 3. *Зависимость тепловыделения в цикле экспериментального дизеля от угла поворота коленчатого вала и содержания воды в спиртоводном растворе:*
1 – 95 %; 2 – 70 %; 3 – 45 %

Значения индикаторного давления и эмиссии углеводородов в зависимости от содержания воды в этаноле

Показатель	Значение показателя в зависимости от содержания, % об., воды в этаноле		
	95	70	45
Среднее индикаторное давление, МПа (кгс/см^2)	1,07 (10,7)	1,07 (10,7)	1,05 (10,5)
Эмиссия, млн$^{-1}$:			
оксидов азота	1644	966	205
монооксида углерода	2,08	1,48	1,17
двуоксида углерода	13,06	13,45	13,12
углеводородов	500	–	2000

сгорания базового дизеля не была оптимизирована под рассматриваемый рабочий процесс, а топливо впрыскивалось в начале такта сжатия: при таком раннем впрыскивании топливо попадает в среду, где давление ненамного выше атмосферного, из-за чего дальнобойность струи получается достаточно значительной, и большая часть топлива при положении поршня вблизи НМТ может попасть на стенки гильзы цилиндра, поршня и в защемленные объемы.

Однако если даже несгоревших углеводородов получается много, то это не опасно: снижения их эмиссии легко добиться в процессе доводки рабочего процесса. Например, переходом на поздние углы впрыскивания топлива, согласованием факела распыливаемого топлива с камерой сгорания двигателя и т.д. Кроме того, продукты неполного окисления топлива не представляют той сложности в нейтрализации, которая характерна для оксидов азота, и могут быть эффективно устранены в современных каталитических дожигателях.

Таким образом, возможность сжигания в поршневом ДВС водных растворов этанола с объемной долей воды до 55 % на режиме, близком к стехиометрическому, доказана экспериментально. Доказано и то, что в ходе экспериментов было установлено: с ростом количества воды в обводненном этаноле (от 5 до 55 % воды по объему) наблюдается снижение уровня эмиссии оксидов азота с 1644 до 205 млн$^{-1}$, т.е. в 8 раз, а эмиссии монооксида углерода в 1,8 раза; удельная мощность дизеля не снижается и существенного увеличения времени теплоподвода не происходит.

УДК 519.2:519.95:521.19

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

С.А. Агаммедова, Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности, г. Баку

Для управления рисками в магистральных газонефтетрубопроводных системах при нечетко линейных ограничениях на объемы средств, выделенных на ликвидацию аварий, используются базовые модели возможностной оптимизации. Нахождение оптимального решения задачи приводится к решению детерминированных систем псевдобулевых неравенств. Разработана вычислительная процедура определения объема средств, необходимых для ликвидации возможных аварий в новом временном периоде, на основе известных удельных затрат в предыдущем временном периоде.

Ключевые слова: управление рисками; магистральная газонефтетрубопроводная система; оптимизация процессов; базовая модель; теория возможностей.

RISK MANAGEMENT IN THE MAIN OIL GAS PIPELINE SYSTEMS ON THE BASIS OF THE THEORY OF OPPORTUNITIES

Agammedova S.A., Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku

For the risk management systems at the main oil gas pipeline systems on the amount of funds allocated for the elimination of accidents, using basic models Possibilistic optimization. Finding the optimal solution of the problem reduces to the solution of deterministic systems of pseudo inequalities. A computational procedure for determining the amount of funds necessary for the elimination of possible accidents in a new time period, based on the known specific expenses in the previous interim period.

В современных условиях термин "риск" определяется применительно к цели исследования и определяется как "вероятность определенного нежелательного события" [1]. Большинство экономистов под риском понимают угрозу потери части прибыли, неполучение ожидаемых доходов или появление дополнительных расходов в результате осуществления определенной производственной или финансовой деятельности. Для любого бизнеса важно не избежать риска вообще, а предвидеть его и принять оптимальное решение относительно возможных последствий.

В современных рыночных условиях аксиомой предпринимательской деятельности считается, что излишнее уклонение от риска иногда не менее опасно, чем принятие слишком высокого риска. Не взятый на себя разумный риск – это упущенные возможности, которые конкурент может не упустить. Другими словами, риска не нужно избегать, им нужно управлять.

Управление рисками – это неотъемлемая часть любой предпринимательной деятельности, состоит из целей и соответствующих им управленческих решений принятия, планирования и контроля за ресурсами. В условиях глобальной экономики повышение финансовой стабильности компании и минимизации потерь от рисков становится для нее одной из ключевых задач [2].

Существует несколько основных групп событий, которые оказывают непосредственное влияние на уровень риска эксплуатации магистральной газонефтетрубопроводной системы (МГНТС): I – политическая, II – экономическая, III – технико-технологическая, IV – экологическая. Наибольший удельный вес имеет III группа событий, в которой наибольшее число отказов, потенциально зависящих от множества факторов, в том числе человеческого. Нами рассматривается только III группа событий.

Под допустимым решением в состоянии угрозы появления аварии определенного типа или в состоянии наступившей аварии данного типа подразумевается реализация некоторого комплекса мероприятий, обеспечивающего нормальное функционирование МГНТС (т.е. переход системы безопасности в режим ожидания), при этом число таких комплексов конечно для каждого состояния и выделенные на них средства имеют ограниченные объемы. В состоянии ожидания система безопасности принимает единственное решение: не принимать никаких мер безопасности (за исключением профилактических) и поддерживать режим нормального функционирования МГНТС.

Проблема принятия решений занимает одно из доминирующих мест в теории анализа и оптимизации процессов функционирования объектов и систем. Она приобретает особо актуальное значение для организации функционирования систем в условиях неопределенности. В таких условиях возникают принципиальные трудности в формировании и описании множества альтернатив, из которого должна быть выбрана наилучшая, а также трудности в формулировании и обосновании принципа оптимальности выбора наилучшей альтернативы. Таким образом, проблема принятия решения должна быть формально – математически поставлена и решена, когда принцип выбора не формализован.

В сложных системах, к которым относится МГНТС, формальная постановка задачи оптимизации не просто затруднена, но и в целом ряде случаев основные системные параметры являются нечеткими, а стохастические характеристики для них определить не представляется возможным. К тому же в системах имеются неконтролируемые возмущающие факторы, приводящие к изменению структуры системы, к нарушению ее устойчивости.

Исследование проблемы принятия решений в нечеткой среде стало возможным благодаря работе Р. Белмана и Л. Заде [3]. В ней была предложена симметричная схема для принятия решений, в соответствии с которой не делается различий между целями и ограничениями задачи. Они моделируются соответствующими подмножествами числовой прямой.

В работе [4] Л. Заде обновил теорию нечеткости, положив начало теории возможностей. Следствием этого явилось рассмотрение задач нечеткой оптимизации в контексте теории возможностей. Однако анализ этой работы показывает, что в задачах нечеткой оптимизации лишь изменено название функций принадлежности на распределение возможностей, а аппарат исследования проблемы остается прежним: исчисление нечеткости, основанное на принципе обобщения. Однако теория возможностей имеет под собой более глубокую математическую основу – меру неопределенности. Одной из этих мер является мера возможности (possibility measure) [5].

Использование аксиоматики теории возможностей для построения моделей оптимизации в условиях неопределенности позволяет рассматривать эту проблему с общих позиций мер неопределенности. Такой подход позволяет избежать неструктурированности при построении формальной оптимизационной модели принятия решения, вскрыть ее внутреннюю и внешнюю структуру, установить связь между нечеткими, стохастическими и интервальными моделями. Теоретическое обоснование и разработка класса базовых моделей и проблем нечеткой оптимизации на базе современной теории возможностей даны в работе [6]. Суть возможностного подхода к проблеме нечеткой оптимизации не только в интерпретации нечеткости как возможности, а в систематическом применении аксиоматической теории возможностей как математического аппарата исследования проблемы.

В настоящей работе рассматривается задача управления рисками в МГНТС при ограниченных объемах средств, выделенных на мероприятия по предупреждению или ликвидацию последствий аварий, и известных функциях распределения времени безотказной работы между соседними авариями определенного типа и функциях распределения времени восстановления работоспособности, с использованием каждого решения из заданного комплекса мероприятий при аварии определенного типа. Задача формулируется в виде полумарковской модели принятия решений для управляемого марковского процесса в непрерывном

времени с нелинейной целевой функцией дохода и линейными неравенствами – ограничениями с коэффициентами, выражающими затраты каждого вида средств на определенный тип аварий и заданных в виде случайных нечетких переменных.

С помощью возможностного подхода к задаче нечеткой оптимизации и максимизации уровня при построчных ограничениях по ожидаемой возможности сформулированная задача сводится к эквивалентной детерминированной задаче нелинейного программирования с булевыми переменными. В случае четких коэффициентов линейных ограничений данная задача решена в работе [7].

1. Базовые модели возможностной оптимизации при нечеткой информации

Приведем некоторые сведения из теории возможностной оптимизации [6], необходимые для формулировки задачи управления рисками в условиях нечеткой определенности исходных данных.

Определение 1. Возможностное пространство есть триплет – (Г, P(Г), П), здесь Г – это модельное пространство, P(Г) – множество его подмножеств, П – возможностная мера, П:P(Г) $\to$ [0,1], удовлетворяющая следующим свойствами:

$$\Pi(\varnothing) = 0;\ \Pi(\Gamma) = 1; \tag{1}$$

$$\Pi(\cup A_i) = \prod_i^{\sup}(A_i);\ \forall A_i \in \mathrm{P}(\Gamma). \tag{2}$$

Конструкция Г определяется конкретной областью исследования. Из (1), (2) следует ограниченность и монотонность возможностной меры, т.е.

$$0 \le \Pi(\mathrm{A}) \le 1,\ \forall \mathrm{A} \in \mathrm{P}(\Gamma), \tag{1.1}$$

$$\Pi(\mathrm{A}) \le \Pi(\mathrm{B}),\ \forall \mathrm{A}, \mathrm{B} \in \mathrm{P}(\Gamma):\mathrm{A} \subseteq \mathrm{B} \tag{1.2}$$

Предположим, что возможностная мера П удовлетворяет требованиям непрерывности, т.е. для любой убывающей последовательности множеств $\mathrm{A}_1 \supseteq \mathrm{A}_2 \supseteq \mathrm{A}_3$,..., $\mathrm{A}_i \in \mathrm{P}(\Gamma)$,

$$\Pi\left(\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \lim_{i\to\infty} \Pi(A_i).$$

Отметим, что когда $A_i \subseteq \mathrm{A}_2 \subseteq \mathrm{A}_3 \subseteq \ldots$, то из свойства (2) меры П следует $\Pi\left(\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \lim_{i\to\infty} \Pi(A_i)$.

Естественно, как и в теории вероятностей, на первый план выступают понятие нечеткой величины (возможностной переменной) и ее распределение.

Определение 2. Возможностной переменной (величиной) называется отображение X:Г $\to E^1$, возможные значения которой ограничены его распределением возможностей μ_X.

Распределение возможностей определяется через меру возможности

$$\mu_X(x) = \Pi\{\gamma \in \Gamma : \mathrm{X}(\gamma) = x\}, \forall x \in \mathrm{E}^1, \tag{1.3}$$

где μ_X – есть возможность того, что возможностная переменная X может принимать значение x из E^1 (E^1 – евклидовое одномерное пространство, т.е. числовая прямая).

Нетрудно показать, что

$$0 \le \mu_X(x) \le 1,\ \forall x \in \mathrm{E}^1 \tag{1.4}$$

и

$$\sup_{x\in \mathrm{E}^1} \mu_X(x) = 1. \tag{1.5}$$

Определение 3. Множеством $\overline{\alpha}$ – уровня возможностной переменной X называется множество

$$\mathrm{X}_\alpha = \{x \in \mathrm{E}^1 : \mu_X(x) \ge \overline{\alpha}\},\ \overline{\alpha} \in [0, 1] \tag{1.6}$$

Определение 4. Носителем возможностной переменной X называется множество

$$\sup p(\mathrm{X}) = \{x \in \mathrm{E}^1 : \mu_X(x) > 0\}. \tag{1.7}$$

Утверждение 1. Пусть X – возможностная переменная, определенная на возможностном пространстве (Г, P(Г), П) с непрерывной мерой П. Тогда распределение $\mu_X(x)$ – полунепрерывная сверху функция на E^1.

По определению [8], функция $f(x)$ полунепрерывна сверху в точке x_0, если для любого $\varepsilon > 0$ существует такая окрестность точки x_0, в которой $f(x) < f(x_0) + \varepsilon$.

Возможностная переменная называется унимодальной, если существует единственная точка $\alpha \in \mathrm{E}^1$, такая, что $\mu_X(\alpha) = 1$. Точка α называется модальным значением нечеткой величины X.

Возможностная переменная X называется выпуклой вверх, если

$$\mu_X(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \ge \min\{\mu_X(x_1), \mu_X(x_2)\},\quad x_1 x_2 \in \mathrm{E}^1,\ 0 \le \lambda \le 1. \tag{1.8}$$

Определение 5. Возможностные переменные $X_1, ..., X_n$ называются несвязанными, если для любого подмножества $\{i_1, ..., i_k\}$ множества $[1, ..., n]$

$$\mu_{X_{i_1},...,X_{i_k}}(x_1, ..., x_k) = \\ = \min\{\mu_{X_{i_1}}(x_1), ..., \mu_{X_{i_k}}(x_k)\}. \quad (1.9)$$

Пусть далее

$$f_{i,n}(x, \gamma) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}(\gamma) x_j \quad (1.10)$$

– взвешенная сумма нечетких величин $x_1, ..., x_n$, где a_{ij} – возможностные переменные, определенные на $(\Gamma, P(\Gamma), \Pi)$, $x = (x_1, ..., x_n) \in X = \{x \in E^n | x \geq 0\}$, E^n – n-мерное пространство.

Утверждение 2. Пусть возможностные переменные α_{ij}, определенные на возможностном пространстве $(\Gamma, P(\Gamma), \Pi)$ с непрерывной мерой, являются несвязанными. Тогда распределение возможностей переменной $f_{i,n}(x, \gamma)$ при фиксированном x полунепрерывно сверху на E^1 и допускает представление

$$\mu_{f_{i,n}}(t) = \\ = \bigvee_{t_n,\ t_{n-1},...,\ t_2} \mu_{a_{i1}x_1}(t - t_n - t_{n-1} - ... - t_2) \wedge \mu_{a_{1,2}x_2}(t_2) \wedge ... \\ ... \wedge \mu_{a_{in}x_n}(t_n). \quad (1.11)$$

Здесь символы $\vee$ и $\wedge$ обозначают взятие максимума и минимума на отрезке $[0, 1]$.

Проблема оптимизации и принятия решений при нечеткой информации и при возможностной интерпретации нечеткости предполагает наличие следующих элементов:

1. Множество решений $X \subset E^n$, отвечающее ограничениям специального вида.

2. Возможностное пространство $(\Gamma, P(\Gamma), \Pi)$.

3. Семейство возможностных функций $f_k(\cdot,\cdot): E^n X \Gamma \to E^1$, $k = \overline{0, m}$, формирующих ограничения Q задачей и ее целевую функцию.

4. Модель принятия решений (model of decision) $MD(X, (\Gamma, P(\Gamma), \Pi), f_0, f_1, ..., f_m)$.

Конкретный вид этих элементов может быть следующим:

$$X = \{x \in E^n | x_1, ..., x_n \geq 0\};$$

$$f_k(x, \gamma) = \sum_{j=1}^{n} a_{kj} x_j - b_k(\gamma)$$

или

$$f_k(x, \gamma) = \sum_{j=1}^{n} a_{kj}(\gamma) x_j - b_k(\gamma);$$

$$Q = \{x \in E^n | \Pi\{f_k(x, \gamma) = 0\} \geq \alpha_k, \alpha_k \in (0, 1], \\ k = \overline{1, m}\}.$$

Комбинируя различным образом модели критериев и ограничений, приходим к следующим базовым моделям проблем возможностной оптимизации.

Модальная проблема возможностной оптимизации:

$$M\{f_0(x, \gamma)\} \to \max, \quad (1.8)$$

$$\begin{cases} M\{f_k(x, \gamma)\} = 0, \ k = \overline{1, m}, \\ x \in X. \end{cases} \quad (1.9)$$

В данном случае M обозначает переход к модальным значениям возможностных отображений.

Проблема максимизации возможности достижения цели при построчных ограничениях по возможности:

$$\Pi\{f_0(x, \gamma) = 0\} \to \max, \quad (1.10)$$

$$\begin{cases} \Pi\{f_k(x, \gamma) = 0\} \geq \bar{\alpha}_i, \ k = \overline{1, m}, \\ x \in X, \end{cases} \quad (1.11)$$

где $\bar{\alpha}_i \in (0, 1]$ есть заданные уровни возможности.

Проблема максимизации уровня при построчных ограничениях по возможности:

$$X \to \max, \quad (1.12)$$

$$\begin{cases} \Pi\{f_0(x, \gamma) = z\} \geq \bar{\alpha}_0, \\ \Pi\{f_k(x, \gamma) = 0\} \geq \bar{\alpha}_k, \ k = \overline{1, m}, \\ x \in X. \end{cases} \quad (1.13)$$

Кроме построчных ограничений по возможности может быть использовано ограничение по возможности:

$$\Pi\{f_k(x, \gamma) = 0, \ k = \overline{1, m}\} \geq \bar{\alpha}, \ \bar{\alpha} \in (0, 1]. \quad (1.14)$$

Для линейных функций $f_k(x, \gamma) = \sum_{j=1}^{n} a_{kj}(\gamma) x_j - b_k$ ($k = \overline{1, m}$) методами интервальной математики [9] может быть доказано (см. [10]), что система (1.11) эквивалентна системе линейных ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} a_{kj}^{-} x_j \le b_k^{+}, \\ \sum_{j=1}^{n} a_{kj}^{+} x_j \ge b_k^{-}, \\ x \in X,\ k = 1, ..., m, \end{cases} \quad (1.15)$$

где a_{kj}^{-}, a_{kj}^{+}, b_k^{-}, b_k^{+} есть границы замкнутых интервалов $[a_{kj}^{-}, a_{kj}^{+}]$, $[b_k^{-}, b_k^{+}]$, представляющие α_k – уровневые множества возможностных величин $a_{kj}(\gamma)$ и $b_k(\gamma)$ соответственно.

Пусть $a_{kj}(\omega, \gamma)$, $b_{kj}(w, \gamma)$ – независимые дискретные случайные нечеткие переменные, принимающие значения $a_{kj}^1, ..., a_{kj}^{n_{ij}}$ и $b_k^1, ..., b_k^{n_i}$ с вероятностями $p_{kj}^1, ..., p_{kj}^{n_{ij}}$ и $p_k^1, ..., p_k^{n_i}$ соответственно. Значениями случайных нечетких переменных являются несвязанные нечеткие величины, определенные на возможностном пространстве (Г, Р(Г), П) с непрерывной мерой П. Функции распределения нечетких величин a_{kj}^l, b_k^l квазивогнутые и имеют конечный носитель.

Пусть функции, входящие в ограничения, имеют вид

$$f_k(x, \omega, \gamma) = \sum_{i \le 1}^{n} a_{kj}(\omega, \gamma) x_j - b_k(\omega, \gamma). \quad (1.16)$$

Тогда возможны следующие постановки задач возможностной оптимизации.

Проблема максимизации модальной ожидаемой возможности:

$$\mathrm{M}\{\mathrm{E} f_0(x, \omega, \gamma)\} \to \max, \quad (1.17)$$

$$\begin{cases} \mathrm{M}\{\mathrm{E} f_0(x, \omega, \gamma) = 0\} \ge \bar{\alpha}_k,\ k = \overline{1, m}, \\ x \in \mathrm{X}, \end{cases} \quad (1.18)$$

где E – знак математического ожидания (среднего значения).

Проблема максимизации возможности достижения цели при построчных ограничениях по ожидаемой возможности

$$\Pi\{\mathrm{E} f_0(x, \omega, \gamma)\} \to \max, \quad (1.19)$$

$$\begin{cases} \Pi\{\mathrm{E} f_k(x, \omega, \gamma) = 0\} \ge \bar{\alpha}_k,\ k = \overline{1, m}, \\ x \in \mathrm{X} \end{cases} \quad (1.20)$$

Проблема максимизации уровня при построчных ограничениях по ожидаемой возможности (оптимистическая модель принятия решений):

$$z \to \max, \quad (1.21)$$

$$\begin{cases} \Pi\{\mathrm{E} f_0(x, \omega, \gamma) = z\} \ge \bar{\alpha}_0, \\ \Pi\{\mathrm{E} f_k(x, \omega, \gamma) = 0\} \ge \bar{\alpha}_k,\ k = \overline{1, m}, \\ x \in \mathrm{X}. \end{cases} \quad (1.22)$$

Как показано в [11], система ограничений с функциями $f_k(x, \omega, \gamma)$ в виде (1.16) будет эквивалентна системе ограничений

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} a_{kj}^{-} x_j \le b_k^{+}, \\ \sum_{j=1}^{n} a_{kj}^{+} x_j \ge b_k^{-}, \\ x \in \mathrm{X},\ k = 1, ..., m, \end{cases} \quad (1.23)$$

где

$$a_{kj}^{-} = \sum_{l=1}^{n_{ij}} p_{kj}^l \bar{a}_{kj}^l, \quad a_{kj}^{+} = \sum_{l=1}^{n_{ij}} p_{kj}^l \bar{a}_{kj}^l,$$

$$b_k^{-} = \sum_{l=1}^{n_{ij}} p_k^l b_k^l, \quad b_k^{+} = \sum_{l=1}^{n_{ij}} p_k^l b_k^l, \quad (1.24)$$

$$\begin{cases} \bar{a}_{kj}^l = \inf\{t : \mu_{a_{kj}^l}(t) \ge \alpha_k\}, \\ \bar{a}_{kj}^l = \sup\{t : \mu_{a_{kj}^l}(t) \ge \alpha_k\}, \\ \bar{b}_{kj}^l = \inf\{t : \mu_{b_{kj}^l}(t) \ge \alpha_k\},\ \bar{b}_{kj}^l = \sup\{t : \mu_{b_{kj}^l}(t) \ge \alpha_k\}. \end{cases} \quad (1.25)$$

Определение случайной нечеткой переменной и развитие соответствующего исчисления возможностей можно найти в работах [12–14].

2. Возможностная постановка задачи управления рисками в МГНТС при нечетких ограничениях

Пусть каждому состоянию $i \in S, S = \{0, 1, 2, ..., N\}$, рассматриваемой МГНТС поставлено в соответствие конечное множество K_i решений (различные комплексы мероприятий в случае аварий и поддержка режима нормального функционирования при отсутствии аварий), элементы которого обозначим $k = 1, 2, ..., k_i$. Если система находится в состоянии $i \in S$ и принимается решение $k \in K_i$, то ее дальнейшее поведение определяется вероятностным законом

$$Q_i^{(k)}(t) = p_{ij}^{(k)} F_{ij}^{(k)}(t),\ j \in S, \qquad (2.1)$$

где $p_{ij}^{(k)}$ – вероятность перехода системы в состояние i; $F_{ij}^{(k)}(t)$ – функция распределения времени пребывания системы в состоянии i при принятии решения k и при условии, что следующий переход произойдет в состояние j.

Будем полагать выполненными следующие условия:

1. Состояние $i = 0$ соответствует нормальному функционированию, а $i \neq 0$ – аварийным (или предаварийным) ситуациям.

2. Функции $F_{0j}^{(k)}(t)$ и $F_{j0}^{(k)}(t),\ j \in \widetilde{S} = S / \{0\}$, $k \in K_j$, вместе со своими первыми производными непрерывны при $t > 0$, за исключением, возможно, конечного числа точек, и возрастают на бесконечности не быстрее экспоненциальной функции, что обеспечивает существование для этих функций интеграла Лапласа–Стилтьеса.

3. За единицу времени пребывания в состоянии i в случае принятия решения k выплачивается средний доход $r_i^{(k)}$ (при $i \neq 0$ число $r_i^{(k)}$ отрицательно и равно средним издержкам системы за единицу времени пребывания в состоянии i при условии выхода из этого состояния с использованием решения k).

4. Величины $|r_i^{(k)}|$ ограничены при всех $i \in S$, $k \in K_i$ и вероятности $p_{ij}^{(k)}$ удовлетворяют соотношениям

$$\sum_{j \in S} p_{ij}^{(k)} = 1,\ i \in S,\ k \in K_i,$$

$$p_{ij}^{(k)} \geq 0,\ i, j \in S,\ k \in K_i.$$

Таким образом, в каждом состоянии $i \in S$ имеется k_i решений из конечного множества K_i. Выбор некоторого решения k из K_i в состоянии $i \in S$ означает задание величин $Q_{ij}^{(k)}(t)$, $p_{ij}^{(k)}$, $F_{ij}^{(k)}(t)$, $r_i^k\ j \in S$.

При $i = 0\ K_0 = \{0\}$, $p_{0j}^{(0)}(j \in S)$ – вероятность перехода в состояние j. Вероятности $p_{0j}^{(0)}(j \in \widetilde{S})$ вычисляются на практике как доля аварий типа j в общей совокупности аварий различных типов в МГНТС на основе банка данных предыстории процесса. В этом случае $F_{0j}^{(0)}(t)$ – функция распределения времени безотказной работы МГНТС между двумя последовательными авариями типа j. При этом аварии отождествляем с последовательно соединенными независимыми элементами, восстанавливаемыми за конечное время [15]. При $i = 1, ..., N$ для любого $k \in K_i$ $p_{i0}^{(k)} = 1$, $p_{ij}^{(k)} = 0\ (j \neq 0)$; $F_{j0}^{(k)}(t)$ – функция распределения времени восстановления работоспособности МГНТС с использованием решения k при аварии типа j.

В задачу управления рисками МГНТС должны входить булевые переменные x_{kj} ($j = 0, 1, ..., N$; $k = 0, 1, ..., m$), где m – общее число комплексов мероприятий, предусмотренных для ликвидаци аварий из множества $\widetilde{S}$ и образующих множество $K = \bigcup_{j \in S} K_j$, где K_j – множество комплексов мероприятий, предусмотренных для ликвидации аварий типа j из множества $\widetilde{S}$. При $j = 0$ принимается заведомое решение $x_{00} = 1$, а при $j \neq 0$ заранее неизвестное решение с компонентами $x_{kj} = 0$ или $x_{kj} = 1$ ($k = 1, ..., m$).

Целевая функция рассматриваемой задачи f_0, определяющая суммарный доход системы, зависит от всех компонент вектора $x = (x_{00}, x_{11}, ..., x_{1N}, ..., x_{mN})$, в то время как ограничения на затраты зависят от всех компонент вектора $\widetilde{x} = (x_{11}, ..., x_{m1}, ..., x_{1N}, ..., x_{mN})$ размерности $n = mN$. Будем полагать, что ограничения на затраты представляются либо линейными функциями от нечетких переменных $a_{kj}(\gamma)$ и $b_k(\gamma)$ в виде

$$f_k(x, \gamma) = \sum_{j=1}^{N} a_{kj}(\gamma) x_{kj} + b_k(\gamma)\ (k = 1, ..., m) \qquad (2.2)$$

либо линейными функциями от случайных нечетких переменных $a_{ki}^1, ..., a_{ki}^{n_{ij}}$ и $b_k^1, ..., b_k^{n_i}$ с вероятно-

стями $p_{kj}^{1}, ..., p_{kj}^{n_{ij}}$ и $p_{k}^{1}, ..., p_{k}^{n_{i}}$ соответственно в виде

$$f_k(x, \omega, \gamma) = \sum_{j=1}^{N} a_{kj}(\omega\gamma) x_{kj} + b_k(\omega\gamma) \quad (2.3)$$
$$(k = 1, ..., m).$$

В случае ограничений вида (2.2) возможны постановки задач возможностной оптимизации (1.8)–(1.9); (1.10–1.11); (1.12–1.13); (1.12)–(1.14) с системой линейных ограничений (1.15) и в случае ограничений вида (2.3) – задач возможностной оптимизации (1.17)–(1.18); (1.19)–(1.20); (1.21)–(1.22). Во всех этих задачах, применительно к рассматриваемой нами задаче для МГНТС, полагаем, что X есть дискретное множество булевых переменных x_{kj} ($j = 0, 1, ..., N$: $k = 0, 1, ..., m$) размерности $n' = (m+1)(n+1)$. Поскольку вероятность есть усредненная возможность [16] и целевой функцией в задаче управления рисками в МГНТС является средний суммарный доход, то при постановке задач возможностной оптимизации для МГНТС возможностную меру можно заменить вероятностной мерой, сосредоточенной на решениях ограничений по затратам: в случае функции ограничений вида (2.2) – это решения детерминированной системы неравенств (1.15), а в случае (2.3) – решения детерминированной системы неравенств (1.23).

Обозначим τ_n состояние системы поле n-го перехода, u_n – принятое решение относительно выбора значений вектора булевых переменных x, а τ_n – время пребывания в этом состоянии ($n = 0, 1, 2, ...$, i_0 – начальное состояние). Допустимую стратегию π для управляемой МГНТС определим как последовательность $\{\pi_0, \pi_1, \pi_2, ...\}$, где $\pi_n(\bullet/z_n)$ – вероятностная мера, сосредоточенная на принятых в состоянии τ_n решений (управлений) и зависящая от истории управляемой системы к моменту n-го перехода $z_n = (i_0, u_0, \tau_0, ..., i_{n-1}, u_{n-1}, i_n)$. Мера $\pi_n(\bullet/z_n)$ задает рандомизированное правило выбора решения u_n на основе информации z_n. Такую стратегию π называют рандомизированной [17].

Стратегия π называется марковской, если $\pi_n(\bullet/z_n) = \pi_n(\bullet/i_n)$ ($n = 0, 1, 2, ...$). Марковская стратегия называется стационарной, если $\pi(\bullet/i_n) = \pi(\bullet/i_0)$. Плотность меры такой стратегии при $i_n = i, u_n = k$ ($k \in K_i$) обозначим $d_i^{(k)}$. Если стратегия π – марковская стационарная, то управляемый процесс является полумарковским. Основные результаты теории полумарковских процессов изложены в [18]. Управляемые полумарковские модели процессов с доходами приведены в [19].

Обозначим через $w_i(t, \alpha, \pi)$ суммарный доход за время t системы, принимающей решение согласно стратегии π с нормой переоценки α при условии, что функционирование системы начинается в момент $t = 0$ из состояния i.

Здесь α ($0 < \alpha < 1$) – коэффициент дисконтирования доходов (в нормальном режиме функционирования) или издержек (в аварийных ситуациях); коэффициент α определяется инфляцией (при инфляции в 10 % $\alpha = 0{,}1$).

Через $\nu_i^k(t, \alpha, \pi) = w_i(t, \alpha, \pi)/t$ обозначим суммарный средний доход системы за время t при тех же условиях.

Будем полагать, что в случае затратных ограничений вида (2.2) соответствующая детерминированная система неравенств (1.15) совместна (т.е. имеет хотя бы одно решение), а в случае ограничений вида (2.3) совместна система неравенств (1.23). Тогда на основании 15], теоремы 7.4 и 7.7 существует нерандомизированная (т.е. детерминированная) стационарная стратегия π^*, называемая α – оптимальной, которая максимизирует суммарный средний доход $\nu(\alpha, \pi)$ при произвольной стратегии π и норме переоценки α ($\alpha > 0$).

При этом $\vec{\nu}(\alpha, \pi) = (\nu_0(\alpha, \pi), \nu_1(\alpha, \pi), ..., \nu_N(\alpha, \pi))^{\mathrm{T}}$ – вектор размерности $N + 1$ (T – символ транспонирования), где

$$\nu_i(\alpha, \pi) = \lim_{t \to \infty} \nu_i(t, \alpha, \pi), \; i \in S.$$

Необходимо найти α – оптимальную нерандомизированную марковскую стационарную стратегию π^*, максимизирующую средний доход $\nu(\alpha, \pi)$ при произвольном начальном распределении процесса $\vec{\alpha} = (\alpha_0, \alpha_1, ..., \alpha_n)$, где

$$\sum_{i \in S} \alpha_i = 1, \; \alpha > 0, \; i \in S.$$

Не уменьшая общности, в качестве начального распределения примем вектор $\vec{\alpha} = (1, 0, ..., 0)$, т.е. начальное состояние системы – нормальное функционирование.

3. Метод решения задачи

Вероятности переходов рассматриваемого для МГНТС полумарковского процесса принятия решения в моменты скачков из состояния i в состояние j при принятии решения $k \in K_i$ определяются $(N+1)\times(N+1)$ матрицей $P^{(k)} = [p_{ij}^{(k)}]$, которая задает так называемую вложенную цепь Маркова.

Элементы $p_{ij}^{(k)}$ при любых $i, j \in S$ и $k \in K_i$ позволяют определить по формуле (2.1) совместную вероятность $Q_{ij}^{(k)}(t)$ того, что длительность пребывания в состоянии i не превосходит t и из состояния i при $k \in K_i$ процесс переходит в состояние j с вероятностью $p_{ij}^{(k)}$. Функции $Q_{ij}^{(k)}(t)$ в (2.1) удовлетворяют условиям

$$Q_{ij}^{(k)}(0) = 0,\ i,\ j \in S,\ k \in K_i, \tag{3.1}$$

$$\sum_{j\in S} Q_{ij}^{(k)}(\infty) = \sum_{j\in S} p_{ij}^{(k)} = 1,\ i \in S,\ k \in K_i. \tag{3.2}$$

С помощью матрицы $Q^{(k)}(t) = [Q_{ij}^{(k)}(t)]$, называемой матрицей переходных распределений, определяется функция

$$H_i^{(k)}(t) = \sum_{j\in S} Q_{ij}^{(k)}(t),\ i \in S,\ k \in K_i, \tag{3.3}$$

являющуюся функцией распределения времени пребывания процесса в состоянии i при принятии решения $k \in K_i$.

Пусть $h_i^{(k)}(\alpha) = h_i^{(k)}(S)/\ s = \alpha$, где $h_i^{(k)}(s)$ – преобразование Лапласа–Стильтьеса функции $H_i^{(k)}(t)$. С помощью стандартных для теории восстановления [20] рассуждений получаем следующее уравнение восстановления [17]:

$$\begin{aligned}\nu_i(t) = &\sum_{k\in K_i} d_i^{(k)}(1 - H_k^{(k)}(t))\frac{r_i^{(k)}}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) + \\ &+ \sum_{i\in S}\sum_{k\in K_i}\int_0^t d_i^{(k)} \times \\ &\times\left\{\frac{r_i^{(k)}}{\alpha}(1 - e^{-\alpha\tau}) + e^{-\alpha\tau}\nu_j(t-\tau)\right\}\times \\ &\times dQ_{ij}^{(k)}(\tau),\ i \in S.\end{aligned} \tag{3.4}$$

Здесь $\nu_i(t)$ – краткая запись суммарного среднего дохода $\nu_i(t, \alpha, \pi)$ за время t; $r_i^{(k)}$ – доход системы за единицу времени пребывания в состоянии i при решении K_i.

Переходя в (3.4) к пределу при $t \to \infty$, в поле изображений по Лапласу–Стильтьесу получим следующее уравнение:

$$\nu_i(\alpha) = \sum_{k\in K} d_i^{(k)}\left(\rho_i^{(k)}(\alpha) + \sum_{j\in S} q_{ij}^{(k)}\nu_j(\alpha)\right), \tag{3.5}$$

где $\nu_i(\alpha)$ – краткая запись $\nu_j(\alpha, \pi)$; $q_{ij}^{(k)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^{*}\{Q_{ij}^{(k)}(t)\}$, $L^{*}(s)$ – преобразование Лапласа–Стильтьеса; $d_i^{(k)}(k \in K_i)$ – стратегия системы в состоянии i;

$$\rho_i^{(k)}(\alpha) = \frac{r_i^{(k)}}{\alpha}(1 - h_i^{(k)}(\alpha)). \tag{3.6}$$

Пусть

$$\rho_i(\alpha) = \sum_{k\in K_i} d_i^{(k)}\rho_i^{(k)}(\alpha)$$

и $\rho(\alpha) = (\rho_0(\alpha), ..., \rho_N(\alpha))^{\mathrm{T}}$, $\nu(\alpha) = (\nu_0(\alpha), ..., \nu_N(\alpha))^{\mathrm{T}}$. Тогда

$$\nu(\alpha) = \rho(\alpha) + q(\alpha)\nu(\alpha), \tag{3.7}$$

где

$$q(\alpha) = [q_{ij}(\alpha)],\ q_{ij}(\alpha) = \sum_{k\in K_i} d_i^{(k)} q_{ij}^{(k)}(\alpha).$$

Из (3.7) находим

$$\nu(\alpha) = [I - q(\alpha)]^{-1}\rho(\alpha), \tag{3.8}$$

где I – единичная матрица размера $(N+1)\times(N+1)$. Равенство (3.8) справедливо, так как матрица $[I - q(\alpha)]^{-1}$ невырожденная (т.е. ее определитель отличен от нуля).

Умножив обе части равенства на вектор начального распределения, определенный в разделе 2, получим

$$\vec{a}\,\nu(\alpha) = \sum_{i\in S}\sum_{j\in S}\sum_{k\in K_i} q_i \mu_{ij}(\alpha)\rho_j^{(k)}(\alpha)d_j^{(k)}, \tag{3.9}$$

где

$$[\mu_{ij}(\alpha)] = [I - q(\alpha)]^{-1}. \quad (3.10)$$

Величины $\mu_{ij}(\alpha)$ зависят от $d^{(k)}, k \in K_i,\ i \in S$, так как элементы матрицы $[I - q(\alpha)]$ выражаются через $d_i^{(k)}, k \in K_i, i \in S$.

Пусть $\{d_j^{(k)}\}$ $(k \in K_j)$ – нерандомизированная марковская стационарная стратегия системы в состоянии j:

$$d_j^{(k)} \in \{0, 1\},\ \sum_{j \in S} d_j^{(k)} = 1. \quad (3.11)$$

Положим $x_{00} = 1$ и $x_{kj} = d_j^k, k \in K_j, j \in \widetilde{S}$. Обозначим через J_k – множество комплексов мероприятий k из K:

$$K = \bigcup_{j \in \widetilde{S}} k_j;\ m = \dim K,$$

используемых для ликвидации аварий типа j. Очевидно, что $\widetilde{S} = \bigcup_{k \in K} J_k$.

Максимизация суммарного среднего дохода (3.9) при функциях затратных ограничений вида (2.2) сформулируется в виде следующей задачи оптимизации для булевых переменных $x = (x_{ij})$, $k \in K_j$, $j \in \widetilde{S}$ или, что все равно, $j \in J_k$, $k \in K$:

$$f(\alpha,\ x) = \\ = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \widetilde{S}} \sum_{k \in K_j} \alpha_i \mu_{ij}(\alpha,\ x) \rho_j^{(k)} x_{kj} \to \max, \quad (3.12)$$

$$\sum_{k \in K_j} x_{kj} = 1,\ j \in \widetilde{S}, \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^- x_{kj} \le b_k^+ \ (k = 1, ..., m), \quad (3.14)$$

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^+ x_{kj} \ge b_k^- \ (k = 1, ..., m), \quad (3.15)$$

$$x_{kj} \in \{0, 1\},\ k \in K_j,\ j \in \widetilde{S}, \quad (3.16)$$

где $a_{kj}^-, a_{kj}^+, b_k^-, b_k^+$ – границы интервалов $[a_{kj}^-, a_{kj}^+]$, $[b_k^-, b_k^+]$, представляющих α_k – уровневые множества возможностных величин $a_{kj}(\gamma)$ и $b_k(\gamma)$ соответственно.

Если функции затратных ограничений задаются в виде (2.3), то коэффициенты $a_{kj}^-, a_{kj}^+, b_k^-, b_k^+$ в неравенствах (3.14)–(3.15) определяются формулами (1.23).

Неравенства (3.15) представляют собой каноническую форму системы псевдобулевых неравенств [21]. Для построения решений такой системы при дополнительных условиях (3.16) можно использовать предложенный в [22] подход, основанный на отыскании базисных решений. Однако на практике в неравенствах (3.14) и (3.15) правые части b_k^+ и b_k^- определяются по известным коэффициентам a_{kj}^- и a_{kj}^+ соответственно. Будем полагать, что a_{kj}^-, a_{kj}^+ и b_k^-, b_k^+ являются триангулярными возможностными величинами. По определению [6], возможностная величина $X{:}\Gamma \to E^{-1}$ называется триангулярной, если ее функция распределения возможностей имеет следующий вид (рис. 1):

$$\mu_X(x) = \\ = \max\{0, \min\{1 - C_X(x - a), 1 + C_X(x - a)\}\}. \quad (3.17)$$

Здесь a и $b = 1/C_X$ являются модальным значением и коэффициентом нечеткости соответственно. Обозначение: $X \in \tau_r(a, b)$

На рис. 1 $\mathrm{ctg}\varphi = BF/FK$, $\varphi = FB, KB$. Откуда, обозначая $C = \mathrm{tg}\varphi$, получим $C_X = (1 - \mu(x))/(x - a)$ и,

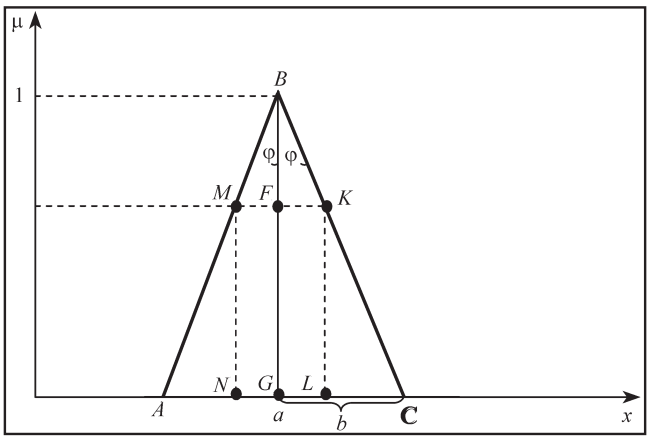

Рис. 1. *Функция распределения триангулярной возможностной величины*

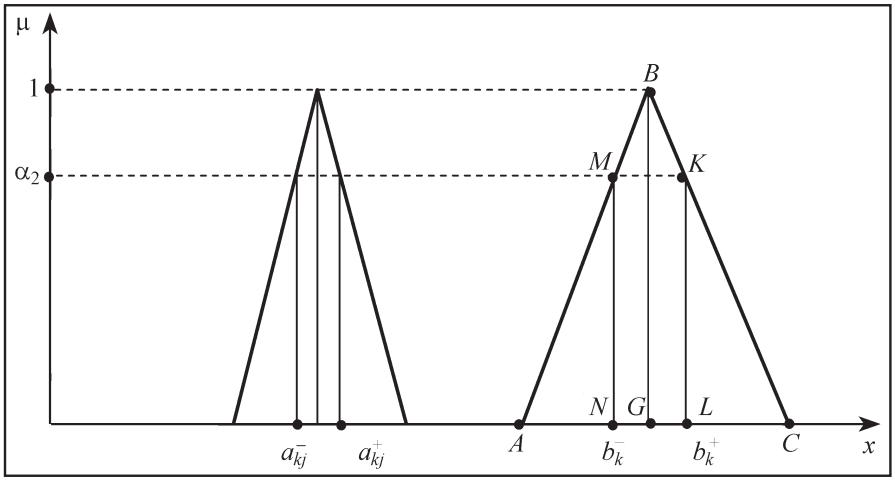

Рис. 2. *Функция распределения триангулярных возможностных величин a_{kj} и b_k*

следовательно, $\mu(x) = 1 - C_X(x - a)$. С другой стороны, $\mathrm{ctg}\varphi = \mathrm{BF}/\mathrm{FM}$, откуда $C_X = (1 - \mu(x))/(a - x)$ и $\mu(x) = 1 + C_X(x - a)$, что и приводит к формуле (3.17).

При заданном уровне α_k функции распределения триангулярных возможностных величин a_{kj} и b_k представлены на рис. 2.

Для вычисления величин b_k^- и b_k^+ по известным значениям величин a_{kj}^- и a_{kj}^+ ($k \in K_j$, $j \in \widetilde{S}$) предлагается следующий алгоритм.

Алгоритм

1. Для фиксированного k ($k \in \{1, ..., m\}$) по старым значениям $a_{kj}^{+\mathrm{ст}}$ и $b_k = (b_k^{-\mathrm{ст}} + b_k^{+\mathrm{ст}})/2$ (известные по предыдущему временному периоду) найдем частные решения неравенства

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^+ x_{kj} \geq b_k \qquad (3.18)$$

при дополнительном условии (3.13).

Обозначим множество этих решений через A_k^+. Выделим из множества A_k^+ подмножество A_k^- решений $\{x_{kj}\}$ ($j \in J_k$), удовлетворяющих неравенству

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^- x_{kj} \leq b_k \qquad (3.19)$$

при дополнительном условии (3.13).

2. Увеличивая последовательно величину b_k с некоторым малым шагом дискретности Δb_k, найдем максимальное значение b_k (обозначим его $\bar{b}_k$), при котором $A_k^- \neq \varnothing$.

3. Начиная с некоторого достаточно малого $\varepsilon > 0$ и увеличивая последовательно ε с некоторым шагом дискретности $\Delta\varepsilon$ будем определять множества $A_k^+(\varepsilon)$ решений неравенства

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^+ x_{kj} \geq \bar{b}_k - \varepsilon \qquad (3.20)$$

и его подмножество $A_k^-(\varepsilon)$ решений, удовлетворяющих неравенству

$$\sum_{j \in J_k} a_{kj}^- x_{kj} \geq \bar{b}_k + \varepsilon. \qquad (3.21)$$

Решения неравенств (3.20) и (3.21) определяются при дополнительном условии (3.13).

Найдем максимальное значение ε (обозначим его $\bar{\varepsilon}$), при котором $A_k^-(\varepsilon) \neq \varnothing$. Тогда $b_k^- = \bar{b}_k - \varepsilon$, $b_k^+ = \bar{b}_k + \varepsilon$ можно принять за границы возможностной величины b_k в новом временном периоде. Функцию распределения величины b_k легко определить из рис. 2. Левая ветвь определяется уравнением прямой MB, проходящей через точки M и B с координатами $(\bar{b}_k, \alpha_k)$ и (b_k, α_k), где $b_k = (b_k^- + b_k^+)/2$, а правая ветвь – уравнением прямой KB, проходящей через точки K и B с координатами (b_k^+, α_k) и (b_k, α_k).

Повторяя вышеуказанную процедуру для всех $k = 1, ..., m$, определим все значения b_k^- и b_k^+ ($k = 1, ..., m$).

Оптимальное решение задачи (3.12)–(3.16) получается путем выбора такого решения системы (3.13)–(3.16), при котором достигается максимальное значение целевой функции (3.12). Это значение получается простым перебором значений функции (3.12) на множестве частных решений системы (3.13)–(3.16).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Найт Ф.Х.** Риск, неопределенности и прибыль. М.: Дело, 2003. – 352 с.

2. **Янукян А.П., Бекетов С.Б.** Новые подходы по управлению рисками нефтегазовых холдинговых компаний // Нефтепромысловое дело, 2014. № 8. С. 55–59.

3. **Bellman R., Zadeh L.A.** Decision-making in a fuzzy environment // Managements Science, 1970. Vol. 17. P. 141–162.

4. **Zadeh L.A.** Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility // Fuzzy Sets and Systems 100 Supplement (1999). 9–34 North-Holland.

5. **Cai K.Y.** Q-Scale Measures of Fuzzy Sets // Fuzzy Sets and Systems, 1994. Vol. 66. P. 59–81.

6. **Язенин А.И.** Методы оптимизации и принятия решений при нечетких данных. Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Тверь, 1995.

7. **Дышин О.А., Азизов И.А.** Полумарковские модели управления рисками в магистральных газонефтетрубопроводных системах // Электронные моделирование. 2010. Т. 32. № 2. С. 15–30.

8. **Колмогоров А.Н., Фомин С.В.** Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, ФИЗМАТЛИТ, 1972. 496 с.

9. **Алефельд Г., Херцбергер Ю.** Введение в интервальные вычисления. Пер. с анг. М.: Мир, 1987. 356 с.

10. **Язенин А.В.** К задаче максимизации возможности достижения нечеткой цели // Известия АН. Теория и системы управления, 1999. № 4. С. 120–123.

11. **Язенин А.В.** О методе решения одной задачи линейного программирования со случайными нечеткими данными // Известия АН. Теория и системы управления, 1997. № 5. С. 91–95.

12. **Kwakernaak H.** Fuzzy random variables. I Definitions and theorems // Inform. Sci. 1978. Vol. 15.

13. **Kwakernaak H.** Fuzzy random variables. II Algorithms and examples for diserete case // Inform. Sci., 1979. Vol. 17.

14. **Nahmias S.** Fuzzy variables in a random environment // Advances in fuzzy sets theory. Amsterdam, 1979.

15. **Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.** Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.

16. **Cai K.Y., Wen C.Y., Zhang M.L.** Fuzzy States as a Basis for a Theory of reliability // Microelectronics and Reliability, 1993. Vol. 33. № 15. P. 2253–2263.

17. **Майн Х., Осаки С.** Марковские процессы принятия решений / Пер. с внгл. М.: Наука, 1977. 176 с.

18. **Королюк В.С., Турбин А.Ф.** Полумарковские процессы и их приложения. Киев: Наук. думка, 1976. 184 с.

19. **Ross S.M.** Average Cost Semi-Varkov Decision Processes // Journal of Applied Probability. 1970. Vol. 7. № 3.

20. **Кокс Д.Р., Смит В.Л.** Теория восстановления. Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1967. 298 с.

21. **Саати Т.** Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Пер. с англ. М.: Мир, 1973.

22. **Городецкий В.И., Лебедев А.И., Пономарев В.В.** Псевдобулевые методы бивалентного программирования в задачах структурного синтеза АСУ // Сб. "Автоматизированные системы управления". Вып. 4. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. С. 50–55.

НА ЕЖЕГОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ "НЕФТЬ И ГАЗ САХАЛИНА 2016"

Оливье Лазар, глава концерна "Шелл" в России, выступил с докладом на ежегодной конференции "Нефть и газ Сахалина 2016", проходящей в Южно-Сахалинске.

Для меня большая честь вновь приехать на Сахалин и выступать на основной сессии конференции "Нефть и газ Сахалина".

Первая конференция состоялась 20 лет назад. С тех пор в мире произошло много событий, изменивших лицо мировой энергетической отрасли. Безусловно, одним из таких событий стало освоение месторождений нефти и газа у берегов Сахалина, что ускорило выход России на мировой рынок СПГ.

В то же время за эти 20 лет наша отрасль не раз сталкивалась с серьезными проблемами, которые в корне изменили и продолжают менять энергетическую карту мира.

Энергия как фактор роста

Сегодня мы принимаем все меры, чтобы справиться с финансовыми сложностями из-за падения цен на нефть и газ. А они могут оставаться на низком уровне довольно долго.

Да, мы сталкиваемся с серьезным вызовом. Но если мы посмотрим вперед, то увидим, что в предстоящие десятилетия спрос на нефть и газ будет стабильным.

Оливье Лазар, глава концерна "Шелл"

К середине века население Земли вырастет с 7 млрд сегодня до 9 млрд, и, как мы надеемся, этот рост будет сопровождаться повышением качества жизни людей.

По прогнозам в период с 2000 до 2050 г. потребление энергии удвоится. Сегодня 80 % процентов энергии мы получаем за счет ископаемых видов топлива. Эксперты Международного Энергетического Агентства считают, что через 20 лет этот показатель составит 75 %. Наш энергобаланс еще долгое время будет зависеть от ископаемых видов топлива.

В то же время правительства, бизнес и общество хотят, чтобы решения в области энергетики принимались с учетом таких важных факторов, как безопасность, надежность, разнообразие источников и гибкость поставок. Также важны конкурентные затраты, экологичность и социальная ответственность, включая охрану здоровья людей.

В случае природного газа эти приоритеты не исключают, а дополняют друг друга.

Преимущества газа

Мировые запасы газа огромны и расположены во многих регионах. По оценкам Международного энергетического агентства технически извлекаемых запасов природного газа в мире хватит, по крайней мере, еще на 222 года при текущем уровне добычи.

Газ легко транспортировать из районов добычи на потребительские рынки, благодаря трубопроводам, развитой сети газохранилищ и технологии сжижения.

В нынешних сложных условиях особенно важно, чтобы природный газ стал экономически конкурентным топливом. Это крайне необходимо для производства электроэнергии. Строительство современных газовых электростанций занимает меньше времени, чем угольных или атомных. Более того, инвестиции на строитель-

ство газовых электростанций в расчете на киловатт мощности значительно ниже, а эксплуатационные расходы самые низкие по сравнению с угольными и атомными станциями.

Наконец, экологические преимущества. Природный газ – самое экологичное из всех ископаемых видов топлива: при его сгорании образуется вдвое меньше двуокиси углерода (CO_2) и лишь 10 % атмосферных выбросов по сравнению с углем.

Золотой век газа?

Когда Международное энергетическое агентство заявило несколько лет назад о "золотом веке газа", многие подумали, что он уже наступил. Но и сегодня "золотой век" все еще не наступил.

Что же изменилось? Усилились дебаты об энергосистеме будущего. Все громче раздаются голоса, призывающие использовать не природный газ, а другие источники энергии. Сторонники этой позиции есть и в правительствах, и в бизнесе, и в обществе. При этом прагматизм часто уходит на второй план, уступая место идеализму.

Возобновляемые источники энергии будут играть очень важную роль, помогая удовлетворять растущий спрос и решать проблемы изменения климата. Но одних только возобновляемых источников энергии явно недостаточно, чтобы поддержать достойный уровень жизни всего населения нашей планеты. Газ и в будущем будет нам нужен, причем как сам по себе, так и в сочетании с возобновляемыми источниками энергии.

В то же время в мире еще явно недостаточно сделано, чтобы заменить уголь как топливо для генерации тепла и электроэнергии. Так, в энергобалансе США уголь занимает 33 %, в Германии – 45 %, в Китае – 65 %, а в Индии – 70 %. А вот в России структура энергопотребления более передовая, и газ в ней занимает почти 50 %.

И все же мы еще сможем увидеть золотой век газа. Все рыночные игроки, включая тех, кто работает в России, должны приложить все силы, чтобы убедить правительства, регуляторов и всех заинтересованных лиц, что газ – лучшее решение. Он гарантирует безопасное, конкурентное и устойчивое снабжение энергоресурсами.

Ходить за примерами далеко не надо: достаточно обратиться к Азиатско-Тихоокеанскому региону, который является целевым рынком для сахалинского газа.

Краткий обзор рынка АТР

Сейчас я хотел бы обратить ваше внимание на Азиатско-Тихоокеанский регион, который остается одним из главных двигателей роста мировой экономики.

По прогнозам Международного валютного фонда экономики стран Азиатско-Тихоокеанского региона в этом и следующем годах будут расти примерно на 5,3 % в год.

Рост экономики означает рост энергопотребления. Согласно оценкам Азиатского банка развития спрос на энергоносители в Азиатско-Тихоокеанском регионе через 15 лет вырастет почти в 2 раза.

Выбор газа как источника энергии для Азиатско-Тихоокеанского региона определяется не только соображениями энергоэффективности и надежности поставок. Он также вызван заботой о людях и качестве воздуха, которым они дышат.

Чистое небо над Пекином

Борьба Пекина со смертельно опасным загрязнением воздуха в городе ни для кого не является секретом. Эта проблема вызвана не только темпами развития городского хозяйства и процессами урбанизации. Количество автомобилей в Пекине за какие-то 10 лет подскочило с 1,6 млн до примерно 5,6 млн. Загрязнение воздуха также вызвано быстрым развитием соседних городов.

В самые тяжелые дни в Пекине концентрация вредных частиц в воздухе может более чем в двадцать раз превышать безопасные уровни, установленные ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения).

Борясь с загрязнением воздуха, Китай поставил задачу удвоить потребление природного газа

с 4 % в 2011 г. до примерно 8 % в 2015-м и 10 % к 2020 г.

Потребление угля в Китае достигло пика в 2014 г. и теперь снижается впервые за 14 лет. Последняя из крупнейших в Пекине угольных электростанций будет закрыта уже в этом году. В рамках программы по переходу Пекина на экологически чистое топливо в городе будут построены четыре газовых станции.

Китай также является одним из лидеров по использованию газа на транспорте. В стране сегодня свыше 200 тыс. грузовиков и автобусов на СПГ. Это примерно в 130 раз больше, чем в Европе.

В сотрудничестве с нашими китайскими партнерами мы помогаем стране с переходом на экологически чистое топливо. Так, вместе с компанией PetroChina "Шелл" разрабатывает запасы природного газа на Чанбейском месторождении в северо-западной части страны. "Шелл" также является крупнейшим поставщиком сжиженного природного газа для крупнейших городов Китая.

Что это значит для России?

Какую роль может играть Россия в контексте растущего спроса на природный газ и СПГ? Россия обладает крупнейшими запасами природного газа в мире: 23 % общемировых. Кроме того, Россия является одним из ведущих производителей и экспортеров природного газа и имеет обширный рынок, на который приходится 2,6 % населения мира.

Даже в нынешних условиях низких цен на углеводороды российский бюджет существенно зависит от нефти и газа. По оценкам министерства финансов России, в 2016 г. нефтегазовые доходы могут составить 43 % поступлений в федеральный бюджет. Это почти на 7 % меньше, чем в предыдущие годы, когда доходы от нефти и газа составляли примерно половину бюджета страны. Но даже несмотря на это снижение, нефть и газ по-прежнему лежат в основе благосостояния России.

По данным министерства энергетики России в 2015 г. страна вновь заняла первое место среди стран-экспортеров газа: на ее долю пришлось 18 % мирового экспорта газа.

Сегодня мало кто сомневается в том, что Россия и дальше будет играть очень важную роль в энергетическом будущем мира в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе.

На протяжении многих десятилетий сначала Советский Союз, а потом и Россия были и остаются традиционными поставщиками трубопроводного газа в страны Европы.

Страхи в отношении надежности этих поставок существовали всегда, причем в очень преувеличенном виде. Даже в годы "холодной войны" в отношениях между Россией и Европой всегда существовала взаимозависимость в энергетической сфере. Приведу интересный факт: за почти 48 лет были только 14 дней, когда российский газ не доходил до Европы.

А в 2009 г., благодаря проекту "Сахалин-2", Россия стала развивать новый вектор своей газовой стратегии, приступив к поставкам СПГ покупателям в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Начало поставок СПГ не только открыло новую страницу в истории российской нефтегазовой отрасли, но и сделало перспективы достижения энергетической безопасности как никогда реальными.

Будущее за газом: слово за Россией

В первой части своего выступления я сказал, что "золотой век газа все еще не наступил". Не наступил и "золотой век российского газа". Прежде всего, из-за недопонимания роли газа многими людьми, которые привыкли считать газ "еще одним углеводородом".

Сегодня Россия полагается на два рынка – западную Европу и Азиатско-Тихоокеанский регион, где идет жестокая конкуренция между различными источниками энергии (газ, возобновляемые источники энергии, уголь). Ограниченная этими двумя рынками, Россия должна сделать настоящий прорыв и увеличить свою долю на рынках.

Для этого Россия (да и другие игроки на газовом рынке) должны демонстрировать всему миру преимущества газа для потребителя, а не сидеть, сложа руки, в ожидании "золотого века".

Таким образом, Россия имеет все права участвовать в дебатах об энергетическом будущем мира и не только участвовать, но и возглавить эти дебаты. Россия должна стать главным пропагандистом природного газа, продвигать его использование в качестве топлива в различных секторах экономики.

Россия должна создавать спрос, создавать новые рынки для своего газа. Для этой цели одинаково хорошо подходят и трубопроводный газ, и СПГ.

В последние годы мы видим огромный интерес к проектам СПГ в мире. Российские компании уже оценили преимущества этого источника энергии, который позволяет сблизить поставщиков и потребителей, сделать рынки более гибкими, решить вопросы сезонности потребления и улучшить надежность поставок.

Расширение проекта "Сахалин-2"

Будущий успех России на рынках СПГ будет строиться на прочной основе опыта и репутации проекта "Сахалин-2". Поэтому в заключительной части своего выступления я хотел бы сказать несколько слов о работе по расширению этого проекта за счет строительства третьей линии по производству СПГ.

С момента проведения последней конференции "Нефть и газ Сахалина" мы заметно продвинулись вперед. Компания "Сахалин Энерджи" присудила контракты на проведение предпроектных изысканий (FEED) на строительство третьей линии СПГ двум компаниям Shell Global Solutions International и "Гипрогазцентр". Работа по подготовке документации FEED идет в хорошем темпе.

Большое внимание уделяется работе с российскими поставщиками. Партнеры по проекту "Сахалин-2" согласовали стратегию локализации поставок материалов. В настоящее время проводят анализ возможностей российских поставщиков обеспечить поставки оборудования и материалов для третьей технологической линии по производству СПГ. Вместе с консорциумом "Сахалин-1" обсуждается вопрос о поставках газа для третьей линии по производству СПГ, помимо газа с проекта "Сахалин-3", который будет поставлять "Газпром".

И, наконец, партнеры согласовали стратегию маркетинга СПГ. Это важная веха на пути к коммерческому успеху проекта.

Заключение

Двадцать лет назад, когда состоялась первая конференция "Нефть и газ Сахалина", мало кто в нашей отрасли верил, что Сахалин станет родным домом для одного из самых крупных и успешных проектов СПГ в мире. России в то время просто не существовало на мировой карте СПГ.

В 2015 г. на долю России приходилось примерно 4 % мировых поставок СПГ и около 6 % поставок СПГ в Тихоокеанском регионе.

Сегодня Россия успешно конкурирует с примерно 20 странами-экспортерами СПГ, а через 10 лет ей придется конкурировать уже с 25 странами-экспортерами, поставляющими СПГ в 50 стран-импортеров.

Россия стала одним из мировых лидеров в производстве СПГ. Настало время России возглавить дебаты об энергетическом будущем мира, чтобы сделать природный газ осознанным выбором человечества. Мы должны продвигать использование природного газа во всех секторах экономики по всему миру.

Я надеюсь, мы объединим наши усилия в этом благородном деле... и планы России станут реальностью.

ГАЗОМОТОРНАЯ ТЕХНИКА "ГРУППЫ ГАЗ" НА ВЫСТАВКЕ GASSUF-2016

М.В. Кузнецова

На 14-й Международной выставке газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSUF-2016 "Группа ГАЗ" впервые показала новую модель микроавтобуса "ГАЗель NEXT" с битопливным газово-бензиновым двигателем EvoTech 2.7 LPG. На выставке также была представлена линейка продукции "Группы ГАЗ" на сжатом природном газе: автомобили "ГАЗель NEXT CNG" и "ГАЗон NEXT CNG", автобус большого класса "Круиз" и автобус среднего класса ПАЗ-320412 CNG.

Микроавтобус "ГАЗель NEXT" с битопливным газово-бензиновым двигателем Evotech 2.7 LPG (LPG, liquified petroleum gas – сжиженный углеводородный газ) отличается низкой стоимостью владения и высокой топливной экономичностью. В автомобиле установлен единый блок управления двигателем газ/бензин с датчиком массового расхода воздуха. По сравнению с раздельным управлением движением на бензине и на газе единый блок гарантирует плавность переключения с одного вида топлива на другое, а также поддерживает оптимальное соотношение воздуха и газа в горючей смеси. Модернизированный газовый редуктор микроавтобуса обеспечивает подогрев газовой смеси и оптимальную работу двигателя в условиях низких температур. Мощность двигателя – 107 л.с. на бензине и 104,3 л.с. при работе на газовом топливе, максимальный крутящий момент – 220,5 Нм при работе на бензине и 219 Нм – на газе. Объем бензобака – 80 л, объем двух газовых баллонов – 87 л, запас хода на бензине и газе – более 1050 км. В автобусе – 16 пассажирских мест.

Бортовой автомобиль "ГАЗель NEXT" укомплектован битопливным двигателем EvoTech TurboCNG (CNG, compressed natural gas – сжатый природный газ). За счет применения турбокомпрессора увеличены мощностные показатели силового агрегата, улучшены динамика разгона и скоростные характеристики. В частности, максимальный крутящий момент повышен до 255 Нм (в том числе возрос крутящий момент в области низких частот – с 1 тыс. до 2,5 тыс. об/мин.), а максимальная мощность двигателя увеличена до 120 л.с. На автомобиль установлены четыре газовых баллона общим объемом 41,6 м^3. Запас хода составляет 750 км, в том числе 300 км – на газе. Модуль газовых клапанов двигателя обеспечивает точную дозировку топлива во всех режимах работы, а выпускной коллектор позволяет агрегату в течение продолжительного времени работать на обедненных смесях, что обеспечивает низкий расход топлива.

Эвакуатор на базе среднетоннажного грузового автомобиля "ГАЗон NEXT CNG" оборудован новейшим дизельным двигателем ЯМЗ-534 CNG мощностью 150 л.с. Семь газовых баллонов объемом 72,8 м^3 обеспечивают запас хода не менее 370 км. Максимальный крутящий момент – 493 Нм. "ГАЗон NEXT CNG" предназначен для эвакуации автомобилей полной массой до 2,5 т. При этом стоимость базового шасси автомобиля в 2,5–3 раза ниже стоимости моделей, традиционно используемых для установки эвакуаторных

"ГАЗель NEXT" с битопливным газово-бензиновым двигателем EvoTech 2.7 LPG

Бортовой автомобиль "ГАЗель NEXT" укомплектован битопливным двигателем EvoTech TurboCNG

Эвакуатор на базе среднетоннажного грузового автомобиля "ГАЗон NEXT CNG"

надстроек, а использование двигателя CNG позволяет сэкономить до 160 тыс. руб. в год при пробеге 60 тыс. км.

Стационарная эвакуаторная платформа российского производства V-Simple, смонтированная на автомобиле "ГАЗон NEXT", выполнена из высококачественной стали. Особенностью платформы является четырехкомпонентая окраска, обеспечивающая износостойкое и долговечное покрытие. Крановоманипуляторная установка Palfinger 13500TB, специально разработанная для автомобильных эвакуаторов, имеет максимальную грузоподъемность 5 т на вылете стрелы 2 м и 1,5 т на вылете 8 м. Автомобиль-эвакуатор оснащен траверсами с гидроцентрированием в комплекте со стропами и колесными захватами.

Автобус "Круиз" на шасси Scania рассчитан на транспортировку 47 пассажиров. Он комплектуется газовым двигателем Scania экологического стандарта "Евро-6". Газовое топливо (метан) заправляется в восемь баллонов по 150 л, чей суммарный объем в 1200 л обеспечивает запас хода в 600 км. Комфорт при передвижении создает пневматическая подвеска со стабилизаторами на передней и задней оси и электронная система управления с функцией подъема и опускания кузова. В базовую комплектацию автобуса включен климат-контроль, бортовой компьютер, круиз-контроль, системы курсовой устойчивости и противоопрокидывания кузова, помощь при подъемах и спусках, видеодвойка. Дополнительно доступны электронно-цифровые рейсоуказатели, видеосистема, Wi-Fi, автоинформатор, видеокамера заднего вида, терминал навигации и связи, видеорегистратор, внешние и внутрисалонные фото- и видеокамеры, спальное место сменного водителя, кухня и биотуалет. Также автобус оснащен датчиками температуры и дыма, автоматической системой оповещения и тушения пожара.

Автобус "Круиз" с газовым двигателем Scania

Автобус среднего класса ПАЗ-320412 CNG

Автобус среднего класса ПАЗ -320412 CNG уже успел завоевать популярность у перевозчиков, активно развивающих парк машин на экологичном газомоторном топливе. Автобус предназначен для обслуживания городских и пригородных маршрутов. Машина рассчитана на транспортировку 60 пассажиров, имеет 21 посадочное место и укомплектована газовым двигателем ЯМЗ-534 экологического стандарта "Евро-5" рабочим объемом 4,43 л и мощностью 170 л.с. Газовое топливо (метан) заправляется в шесть баллонов по 62 л и в баллон на 50 л, что позволяет обеспечить запас хода до 320 км. Цельнометаллические баллоны расположены в основании кузова. ПАЗ-320402-14 имеет высокую окупаемость за счет оптимального соотношения расхода топлива, ресурса кузова и силового агрегата.

Компоненты газобаллонного оборудования, установленного на машинах, сертифицированы на соответствие требованиям Евразийской экономической комиссии ООН и обеспечивают выполнение максимальных требований по противопожарной безопасности.

ЯРКИЙ ФИНАЛ ГОНОЧНОГО СЕЗОНА

Ю.В. Селина

Третий этап чемпионата по кольцевым гонкам на классических автомобилях Moscow Classic Grand Prix 2016, прошедший 1–2 октября прошлого года, собрал в заявочной ведомости 107 участников.

Многочисленные зрители, посетившие в эти выходные автодром, стали свидетелями уникального для современного отечественного автоспорта зрелища. Помимо спортсменов-любителей, на старте – целая плеяда звезд и ветеранов отечественного автоспорта. Александр Потехин, Эдгард Линдгрен, Леонид Протасов, Наталья Гольцова, Евгений Вертунов выступают в серии MCGP не первый год. На 3-м этапе 2016 г. к ним присоединились заводской гонщик АвтоВАЗа, член сборной команды СССР по кольцевым гонкам Александр Нуждин; 13-кратный чемпион Москвы по картингу Олег Трегубов; а также многократный призер чемпионата и кубка СССР по ралли – пилотесса Илона Накутис.

Борьба за лидерство развернулась с первых же метров трассы. Эффектные обгоны, контактная борьба, досадные вылеты. До взмаха финишного флага участники заездов держали зрителей в напряжении. Проливной дождь, начавшийся во второй половине дня, только добавил соревнованиям зрелищности.

Наиболее массовым старт получился в объединенных заездах с участием классических "Жигулей" и иномарок. Спортсмены, выступающие на отечественных ВАЗах, на равных боролись с мощными Porsche 911, Fiat X1/9 и Mini Cooper. Не менее зрелищным получились заезды классов "Москвич" и "Волга". Совместный старт и примерно равные скоростные возможности, позволили зрителям в полной мере насладиться красивой спортивной борьбой. В классе "Формула" выступают болиды "Эстония", построенные в Советском Союзе более 25 лет назад. За рулем опытная молодежь – участники престижных международных гоночных серий и представители старших поколений – звезды и ветераны отечественного автоспорта.

Наиболее массовым старт получился в объединенных заездах с участием классических "Жигулей" и иномарок

Вечером состоялось подведение итогов гоночного сезона. В торжественной обстановке победителям и призерам были вручены медали оригинального дизайна, специально изготовленные для награждения участников MCGP 2016. Кульминацией торжества стало награждение победителей в командном зачете чемпионата. Уникальный переходящий кубок, изго-

Борьба за лидерство развернулась с первых же метров трассы

Более 200 км пути преодолели участники штурманского ралли "Золотая Осень" по живописным дорогам Подмосковья

товленный в свободное от работы время специалистами ГАЗа, из рук организатора и вдохновителя гоночной серии MCGP, Александра Смирнова получила команда "Советский Союз", выступающая на отечественных автомобилях "Жигули" и "Москвич". Призерами стали команды "УГМК-1" и D-Rennsport, занявшие почетные 2-е и 3-е места соответственно.

В рамках 3-го этапа Moscow Classic Grand Prix прошло еще одно красочное мероприятие – традиционное штурманское ралли 3-й категории "Золотая Осень", в котором приняли участие два с половиной десятка раритетных автомобилей марок Jaguar, Porsche, Chevrolet, Alfa-Romeo, Mercedes-Benz и Cadillac.

Изюминкой ралли стали автомобили класса Veteran, выпуска до 1945 г. включительно.

Более 200 км пути преодолели участники по живописным дорогам Подмосковья.

Яркие краски осенних пейзажей, немного спортивной борьбы и спустя пять часов олдтаймеры благополучно финишировали в точке старта.

Старое время

Компания "Старое Время" занимается продажей и обслуживанием классических автомобилей, а также подготовкой автомобилей к спортивным соревнованиям. Компания имеет большой опыт в организации мероприятий с участием классической и спортивной автомобильной техники. Штурманские ралли проводятся несколько раз в сезон с 2003 г., соревнования Moscow Classic Grand Prix – с 2013 г.

"Группа ГАЗ" на международной выставке в Сургуте

На 21-й Международной выставке "Сургут. Нефть и газ – 2016" "Группа ГАЗ" показала специальную технику из нового семейства "Урал NEXT". В экспозиции были представлены два вахтовых автобуса, один из которых – в северном исполнении, нефтепромысловая автоцистерна, самосвал и автомобиль технического сопровождения. Выставка проходила в Сургуте с 28 по 30 сентября 2016 г.

Автомобильный завод "Урал" "Группы ГАЗ" представил на выставке в Сургуте специальную технику для нефтегазовой отрасли. Все грузовики – представители флагманской линейки NEXT, производство которой началось в 2015 г. Грузовики семейства грузоподъемностью от 5,5 до 13 т сохраняют традиционные преимущества бренда "Урал" – проходимость и функциональность, при этом обладая повышенной надежностью, улучшенной управляемостью и экономичностью.

Вахтовые автобусы "Урал NEXT" с колесной формулой 6×6 предназначены для доставки бригад в труднодоступные места при разработке и обслуживании месторождений. Особенностью одного из автомобилей является его специальная комплектация – автобус представлен в северном исполнении. Для обогрева кабины предусмотрен штатный отопитель мощностью 10 кВт, получающий тепло от двигателя, и независимый отопитель мощностью 2 кВт. Тепловой режим в кузове-фургоне обеспечивается двумя независимыми воздушными отопителями общей мощностью 8 кВт, также предусмотрен электроподогрев топливозаборника, фильтров грубой и тонкой очистки топлива.

Нефтепромысловая автоцистерна (6×6) предназначена для сбора разлитой нефти, газового конденсата, нефтепродуктов и неагрессивных технологических жидкостей, а также для их транспортировки к местам утилизации и переработки. Вместимость цистерны – 10 м^3. Вакуумный насос машины оборудован гидравлическим приводом.

На выставке также экспонировался самосвал "Урал NEXT" (6×6) грузоподъемностью 10 т с задней разгрузкой, основным предназначением которого является перевозка различных типов грузов по дорогам с любым качеством покрытия. Самосвальная платформа – объемом 8 м^3.

Традиционные внедорожные качества техники "Урал" хорошо зарекомендовали себя при работе в сложных условиях в районах Сибири и Крайнего Севера. На шасси "Урал" устанавливаются 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.

www.gaz.ru

Первая АЗС Shell в Татарстане

5 октября 2016 г. состоялось открытие первой АЗС Shell в Казани. В торжественной церемонии приняли участие Президент Республики Татарстан Рустам Минниханов и исполнительный вице-президент концерна Shell Иштван Капитани.

Иштван Капитани заявил, что Россия является стратегически важным рынком для развития АЗС концерна Shell

В своей приветственной речи Рустам Минниханов отметил, что приход крупнейшей международной энергетической компании в Татарстан создает новые возможности для развития экономики региона, а мировой опыт Shell и его конкурентные преимущества будут способствовать улучшению стандартов качества продукции и обслуживания клиентов на топливном рынке Республики Татарстан. Рустам Нургалиевич также выразил заинтересованность в расширении сотрудничества с Shell не только в рамках розничной торговли нефтепродуктами, но и в других направлениях деятельности концерна.

Иштван Капитани заявил: "Россия является стратегически важным рынком для развития АЗС концерна Shell, и расширение сети наших автозаправочных комплексов в Приволжском федеральном округе является подтверждением наших долгосрочных планов развития. Во всех странах и регионах своего присутствия Shell стремится соответствовать высочайшим стандартам качества продукции и обслуживания клиентов. Надеемся, что и в Республике Татарстан нам также удастся завоевать доверие потребителей".

АЗС Shell в Казани – это первый объект розничной сети концерна в Приволжском федеральном округе. Она оснащена современными двухсторонними топливораздаточными колонками и мультимедийными ЖК-мониторами, позволяющими клиентам быстро и комфортно получать информацию о виде и стоимости топлива.

Данная станция оборудована системой улавливания и рекуперации паров топлива из резервуаров и бензобаков клиентов, тем самым сводя к минимуму количество выбросов вредных, загрязняющих веществ в атмосферный воздух и повышая рациональное использование топлива.

АЗС Shell полностью оборудована для посещения людьми с ограниченными возможностями – вход в магазин станции имеет широкие дверные проемы, имеются удобные проходы и зоны разворота, информационные указатели понятны и легко читаются.

Сборка техники "Группы ГАЗ" в Казахстане

"Группа ГАЗ" подписала с казахстанским предприятием "СемАЗ" ряд меморандумов о промышленной сборке линейки коммерческой техники в Республике Казахстан. Поставка машинокомплектов в Казахстан для серийного выпуска автомобилей "ГАЗель NEXT", "ГАЗон NEXT" и "ГАЗель БИЗНЕС", большегрузной техники "Урал NEXT", автобусов малого, среднего и большого класса начнется в 2017 г.

"Группа ГАЗ" начинает проект по промышленной сборке линейки техники в Казахстане. Решение об этом было закреплено подписанием ряда меморандумов в области развития национального сборочного производства в Республике Казахстан, документы были подписаны между российскими производителями, входящими в "Группу ГАЗ" холдинга "Русские машины" (ООО "Коммерческие автомобили – Группа ГАЗ", ООО "Русские автобусы – Группа ГАЗ", АО "Автомобильный завод "Урал") и казахстанским ТОО "СемАЗ" (входит в группу "Вираж", производитель сельскохозяйственной и грузовой техники) в рамках XIII Форума межрегионального сотрудничества Казахстана и России.

Тестовые поставки машкомплектов начались в сентябре этого года с каркасных автобусов "ГАЗель NEXT", бортовых автомобилей "ГАЗель БИЗНЕС" и техники Ликинского автобусного завода. Со следующего года, на основе требований заказчиков, "СеМАЗ" будет выпускать серийно технику на основе всей модельной линейки "ГАЗель NEXT", "ГАЗон NEXT" и "ГАЗель БИЗНЕС", большегрузной техники "Урал NEXT", автобусов всех классов (ПАЗ, ЛИАЗ, КАВЗ и ГАЗ), включая технику на сжатом природном газе.

Данный проект – продолжение сотрудничества "Группы ГАЗ" с "СемАЗом", начатого в 2013 г. Тогда в Казахстане началось производство автомобилей "Урал-4320". Выпуск этой модели на мощностях "СемАЗа" будет продолжаться параллельно с производством автомобилей "Урал NEXT", которое начнется в Казахстане в 2017 г.

Вадим Сорокин, Президент "Группы ГАЗ":

– Продукция "Группы ГАЗ" традиционно широко представлена в странах СНГ, и Казахстан является одним из приоритетных для нас рынков на территории бывшего Советского Союза. Сегодня доля ГАЗа на рынке в Казахстане составляет 65 %. Организация сборки позволит увеличить наше присутствие в Казахстане, а также расширить линейку техники, которая предлагается клиентам в этой стране, за счет выпуска в республике новых моделей семейства NEXT.

Проект G-Energy Service стартовал на Балканах

Компания "Газпромнефть – смазочные материалы", оператор бизнеса масел "Газпром нефти", в рамках собственной международной программы G-Energy Service открыла первую станцию технического обслуживания (СТО) на Балканах.

G-Energy Service располагается в пригородном районе столицы Боснии и Герцеговины – Сараево. Станция оборудована семью постами по замене масел и предлагает обширный перечень технических работ с использованием продукции G-Energy и Gazpromneft, предназначенной для гарантийного и пост-гарантийного обслуживания автомобилей.

На СТО дополнительно можно отремонтировать двигатель и трансмиссию, заменить тормозные колодки, также на специальном оборудовании мастера сервиса проведут полную диагностику автомобиля.

G-Energy Service – международная программа компании "Газпромнефть-СМ". По ее условиям компания оказывает СТО партнеров, работающим под брендом G-Energy Service, поддержку: помогает приобретать специализированное оборудование, обучать персонал и осуществлять оформление станций.

Все СТО представляют собой комплексы, оснащенные современным технологическим оборудованием, отвечают высоким стандартам промышленной и экологической безопасности. G-Energy Service планируется развивать в России, СНГ, Западной Европе, а также в странах Ближнего Востока и других регионах.

"Мы продолжаем расширять географию присутствия: сейчас более 35 станций G-Energy Service работают в восьми странах – России, Беларуси, Казахстане, Грузии, Армении, Италии, Венгрии, Боснии и Герцеговине. И число потенциальных партнеров, желающих принять участие в проекте, постоянно растет. В ближайшее время планируем открыть сразу три СТО в Москве, а также пункт в Китае", – говорит генеральный директор компании "Газпромнефть – смазочные материалы" Александр Трухан.