

Московский автомобильно-дорожный институт  
(государственный технический университет)

Научно-техническая  
конференция

**4-е ЛУКАНИНСКИЕ ЧТЕНИЯ.**

**РЕШЕНИЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

**В АВТОТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ**

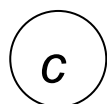
(29 - 30 января 2009 года)

**Тезисы докладов**

**Москва 2009**

УДК 574:[656.13.07+625.7/.8]

Тезисы докладов научно-технической конференции “4-е Луканинские чтения. Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе. –М.:МАДИ(ГТУ), 2009.-180с.



Московский автомобильно-дорожный институт  
(государственный технический университет), 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция “Двигатели внутреннего сгорания”

Иващенко Н.А., Марков В.А., Ефанов А.А., Зенин А.А. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Девянин С.Н. (МГАУ им. В.П. Горячкина). Совершенствование процесса смесеобразования в дизеле.....	16
Хачиян А.С., Кузнецов В.Е., Шишлов И.Г., Вакуленко А.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Предварительные результаты исследования пределов качественного регулирования газового двигателя.....	18
Федянов Е.А., Иткис Е.М., Кузьмин В.Н. Волгоградский государственный технический университет Моделирование динамики тепловыделения в двигателях с процессом HCCI.....	19
Яманин И.А. Ярославский государственный технический университет Динамические модели поршневых двигателей с переменными степенью сжатия и рабочим объемом.....	21
Марков В.А., Девянин С.Н., Шустер А.Ю., Стремяков А.В. МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизелей.....	24
Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.А., Захарченко А.Н. Национальный транспортный университет (Украина) Использование биоэтанола в двигателях дорожных транспортных средств для расширения топливной базы автомобильного транспорта.....	26

Кавтарадзе Р.З., Сергеев С.С. МГТУ им. Н.Э. Баумана Исследование локальных образований оксидов азота и сажи на основе трехмерной нестационарной модели сгорания.....	28
Патрахальцев Н. Н., Казаков С. А., Фернандо Имал Д. К. П. (Шри-Ланка) Регулирование рабочего процесса дизеля изменением физико – химических свойств топлива.....	30
Врублевский А.Н., Абрамчук Ф.И., Денисов А.В. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет Решение задачи поиска оптимальных параметров дизельной топливной аппаратуры.....	32
Злотин Г.Н., Лютин К.И., Федянов Е.А. Волгоградский Государственный Технический Университет Использование нейронных сетей для вибродиагностики газораспределительного механизма ДВС.....	34
Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А. Кафедра «Поршневые двигатели» (Э2) МГТУ им. Н.Э. Баумана Влияние модели турбулентности на расчетные параметры локального теплообмена в камере сгорания дизеля.....	36
Мурзин В.С., Маслов А.П. ООО «ГСКБ «Трансдизель» Принципы формирования модельного ряда двигателей на ранней стадии проектирования.....	38
Грицук И.В., Адров Д.С. - ДонНАСА, Вербовский В.С. - Институт Газа НАН Украины, Повышение эффективности использования топлива стационарными	

и передвижными источниками энергии при решении  
энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе.....42

Олисеви́ч О.В., Михальченко Д.А., Скороделов С.Д., Соленов Н.А.  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)  
Математическое моделирование и сравнительный  
расчетно-экспериментальный анализ электрогидравлических  
форсунок топливной системы COMMON RAIL.....43

Каминский Р.В., Жолудов В.А., Загинайко А.Н.  
ЗАО «НПО «Турботехника»  
Создание турбокомпрессоров для дизельных двигателей  
экологического класса EURO-4, EURO-5.....45

Сибиряков С.В.  
НПО «Турботехника»  
Причины нарушения плотности посадки вкладышей  
подшипников коленчатого вала.....48

Неяченко И.И.  
НТЦ, ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти.  
Проблемы управления подачей топлива при холодном пуске  
бензинового ДВС с впрыском топлива во впускной трубопровод....49

Семёнов В.Г.  
Национальный технический университет «Харьковский политехни-  
ческий институт»  
Атамась А.И.  
Кременчугский государственный политехнический университет име-  
ни М. Остроградского  
Рудаченко С.В., НПО «Виктор», г. Харьков  
Исследование влияния состава топлива на экономические  
показатели вихрекамерного дизеля.....52

Мальчук В.И., Шатров М.Г., Дунин А.Ю., Дубинин А.И., Рыбкин А.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Об организации топливоподачи в многотопливных дизелях нового поколения.....	55
Шайкин А.П., Коломиец П.В., Шайкина Н.А. Тольяттинский государственный университет Концентрация оксида азота в отработавших газах бензинового двигателя при добавке водорода в ТВС.....	57
Гришин Ю.А., Зенкин В.А., Рогов В.С. МГТУ им. Н.Э. Баумана Моделирование продувки двухтактных двигателей.....	57
Пойда А.Н. Зенкин Е.Ю. Харьковский Национальный Автомобильно Дорожный Университет Оценка процессов протекающих в аккумуляторной топливной аппаратуре.....	60
Смоленский В.В., Шайкин А.П., Смоленская Н.М. Тольяттинский государственный университет Особенности работы двигателя с искровым зажиганием при добавке водорода в ТВС.....	61
Белов А. В., Злотин Г.Н., Захаров Е. А. Волгоградский государственный технический университет Исследование характеристик газового редуктора при работе на переходных режимах с использованием математической модели..	64
Хачиян А.С., Алексеев А.Б. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Некоторые результаты исследований современного дизеля большегрузного автомобиля.....	66

Жуков В. А. Тарасов М. А. ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева  
Экологические перспективы высокотемпературных систем охлаждения ДВС.....68

Грачев А.Ю., Рыжкин С.В.  
Департамент транспорта и связи города Москвы,  
Востриков А.В., Гавриков А.Г., Езжев А.А.  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)  
Разработка и исследование топливных систем дизелей,  
использующих в качестве топлива диметиловый эфир.....71

Новиков Д.С.  
Ярославский государственный технический университет  
О модальном анализе силового агрегата автомобиля.....74

Шайкина Н.А.  
Тольяттинский государственный университет  
Бензиновый двигатель в составе гибридной силовой установки.....74

Жуков В.А., Кобытов С.В.  
ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева»  
Способ обеспечения качественного распыливания топлива в дизелях.....77

Шайкин А.П., Ивашин П.В., Брызгалов А.А., Шайкина Н.А.  
Тольяттинский государственный университет  
Взаимосвязь скорости распространения пламени с токсичностью отработавших газов по несгоревшим углеводородам двигателей с искровым зажиганием.....79

Дубинин А.И. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Заяц В.Д., Худяков В.П. ЦНИРТИ Диагностика детонации в бензиновом двигателе системой зажигания с многоимпульсным искровым разрядом.....	81
Козин А.М., Русаков М.М. Тольяттинский государственный университет Возможности импульсного клапана в системе впуска ДВС.....	83
Яковенко А.Л., Мочалов А.В., Шатров М.Г. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Разработка трехмерных параметрических моделей элементов конструкции ДВС для решения задач виброакустики двигателя.....	85
Матюхин Л.М. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Универсальный критерий оценки эффективности термодинамических циклов.....	87
Кальней Е.Д., Максименко В.Н., Русаков М.М. Тольяттинский государственный университет Возможности увеличения эффективности нагнетателя для наддува ДВС легкового автомобиля.....	90
Кричевская Т.Ю., Яковенко А.Л., Петров А.М., Сентюров А.В., Субботин А.В., Яшенкин С.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Трехмерное моделирование турбокомпрессора.....	92
Кричевская Т.Ю., Яковенко А.Л. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)	



Использование системы трехмерного моделирования T-FLEX CAD при подготовке студентов специальности 140501 «Двигатели внутреннего сгорания».....	94
Курин М.С. Тутаевский филиал ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьёва» Обеспечение экологических норм ЕВРО – 4 двигателями ЯМЗ –840.....	96
Жуков В.А., Фигурин В.А. ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева» Снижение дымности и токсичности отработавших газов путем модернизации свечи зажигания.....	98
Рыбаков В.К., Дунин А.Ю. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Новое семейство дизелей МЕРСЕДЕС-БЕНЦ OM651”.....	100
Яковенко А.Л., Шатров М.Г., Набиль Гадир Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Результаты расчета акустической мощности основных источников структурного шума ДВС с использованием компонентов единого информационного пространства «ДВС».....	102
Гришин Ю.А., Хазов Н.В. МГТУ им. Н.Э. Баумана Численный расчет динамического наддува ДВС.....	105
Яманин А.И. Ярославский государственный технический университет Транспортные двигатели с CAM-DRIVE механизмами.....	107

Саркисян Э. Моделирование наблюдателя крутящего момента с помощью искусственной нейронной сети.....	109
Мягков Л.Л., Михайлов Ю.В. МГТУ им. Н.Э.Баумана Моделирование гидродинамики струи масла при взаимодействии с охлаждаемой поверхностью поршня.....	110
Черняк Б.Я. Дунин А.Ю. Онищук Ф.С. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Нейронные сети в задачах моделирования индикаторного процесса ДВС.....	112
Сафронов П.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Влияние переменности инерционных характеристик силового агрегата на его колебания на подвеске.....	114
<b>Секция «Экологические проблемы в АТК»</b>	
Трофименко Ю.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Развитие научной методологии обеспечения техносферной безопасности автотранспортного комплекса.....	117
Трофименко Ю.В., Григорьева Т.Ю. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ) Прогноз выбросов загрязняющих веществ автотранспортным комплексом на период до 2030 года.....	118
Трофименко Ю.В. Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)	

Оценка экологической безопасности автотранспортного  
комплекса Московской области на период до 2020 года.....121

Я.Б. Данилевич

Институт химии силикатов РАН,

В.Н. Денисов

НИЦ экологической безопасности РАН, г.Санкт-Петербург

Системные решения проблем экологической безопасности

автотранспортного комплекса как путь улучшения экологической

ситуации в мегаполисах.....125

Донченко В.В., Кунин Ю.И., Сазонова Г.М.

Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта

(ОАО «НИИАТ»)

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Шелмаков С.В.

Гитарский М.Л., Гинзбург В.А.

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

Выброс климатических газов от автотранспортного комплекса: про-

блемы оценки и ограничения объемов.....127

Денисов В.Н.

Санкт-Петербургский НИЦ экологической безопасности РАН

Дорожно-транспортный комплекс Санкт-Петербурга:

экологические проблемы, пути и опыт их решения.....129

Ворожнин В.С., Давыдов В.Б., Маркелов Ю.И.

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург

Оценка территориальных выбросов от автомагистралей на

примере г. Екатеринбурга.....132

Грищук Ю.В.

Северо-Восточный государственный университет (г. Магадан)

К вопросу о влиянии автотранспортного комплекса г. Магадана на экологическое состояние территории города.....134

Донченко В.В., Мехоношин В.В., Казьмин Д.М.  
Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)  
Оценка эксплуатационных и энергоэкологических показателей работы транспорта на основе компьютерного моделирования (на примере р-на Тушино г. Москвы).....135

Ахметьев Д.А., Еремин В.М., Сарбаев В.И.  
Московский Государственный Индустриальный Университет  
Имитационное моделирование выбросов вредных веществ автотранспортными потоками на УДС городов.....137

Васильев А.В., Алексеева Н.А., Воробьева О.В., Шишкин В.А.  
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти  
Новая система мониторинга транспортного шума.....140

Галевко Ю.В., Иванова Т.В., Елесин А.Н., Попов Ю.Н.  
НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»  
Щепкин А.И.  
ФГУП «НАМИ»  
Гусаков Н.В., Пехов А.Ю.  
САТР-Фонд  
Изменение к ГОСТ Р 51616-2000 «Автомобильные и транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний».....142

Лелюхин А.М., Авенариус И.А.  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)  
Копытенко Ю.А., Птицына Н.Г.  
Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН

Пути снижения техногенной составляющей магнитного поля  
в троллейбусе.....145

Фридман В.С.

Биологический факультет МГУ

Метод количественной оценки автотранспортного воздействия  
на фауну и население птиц: создание и апробация.....147

Ставров О.А.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Современное состояние и перспективы применения  
спиртовых топлив.....150

Шелмаков С.В.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Возможности повышения энергоэффективности автомобилей  
(обзор зарубежного опыта).....152

Шелмаков С.В.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Донченко В.В., Кунин Ю.И.

Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта  
(ОАО «НИИАТ»)

Перспективы и проблемы использования альтернативных  
топлив на автотранспорте.....154

Марасанов Ю.С.

Аппарат Вице-губернатора Санкт-Петербурга

Денисов В.Н.

Санкт-Петербургский НИЦ экологической безопасности РАН

Макаров Ю.В.

LPG Management, Москва

Потенциал партнерства власти, бизнеса и научного сообщества

ради повышения безопасности дорожно-транспортного комплекса городов РФ.....156

Визовитин В.Н.

Северо-Восточный государственный университет (г. Магадан)

Персонал как активное звено снижения негативного воздействия транспортно-дорожного комплекса на окружающую среду.....158

Трофименко Ю.В., Комков В.И.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Транспортное обеспечение системы обращения с отходами автотранспортного комплекса в Московской области.....160

Трофименко К.Ю.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Природноресурсная эффективность региональной системы «Авторециклинг».....162

Трофименко Ю.В., Шашина Е.В.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Автобусный тренажер для оценки надежности водителей.....164

Графкина М.В., Фролова Т.В., Шехорданов П.В.

Московский государственный технический университет «МАМИ»

Исследование вибрации от транспортных потоков.....166

Графкина М.В., Асмолова Е.А., Свиридова Е.Ю.

Московский государственный технический университет «МАМИ»

Проблема шума, создаваемого автотранспортом в городе Москве.....168

Толокин Л.И.

ФГУП «НАМИ»

Измерение шумовых характеристик машин и агрегатов в условиях  
испытательной станции завода.....170

Капитонова С.Н.

МГТУ им Н. Э. Баумана

Интенсификация флотационной очистки сточных вод, содержащих  
гидрофобные загрязнения.....173

Евгеньев Г.И., Солодова М.А.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Городская улично-дорожная сеть – неблагоприятная среда для лиц  
с ограниченными физическими возможностями.....175

Бакатин Ю.П., Ростовцев Ю.Н.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Учет экологических убытков (ущерба) в оценке эффективности экс-  
плуатации дорожных машин.....176

Стеблецкий С.В., Бакатин Ю.П., Извеков А.А.,

Илларионов С.Г., Ратковский С.Н.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Совершенствование процедуры нормирования дымности  
самоходных дорожных машин.....178

Довгаль Н.В., Бакатин Р.Ю.

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

Руководство по обеспечению нормативов экологических и  
технических требований к энергоустановке автомобиля  
как объекту диагностирования.....179

## Секция “Двигатели внутреннего сгорания”

Иващенко Н.А., Марков В.А., Ефанов А.А., Зенин А.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Девянин С.Н. МГАУ им. В.П. Горячкина

### Совершенствование процесса смесеобразования в дизеле

Показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) дизелей предопределяются качеством процесса смесеобразования. Повышение качества смесеобразования в дизелях с неразделенными и полуразделенными камерами сгорания может быть достигнуто путем выполнения на носке распылителя канавок, каждая из которых образует расширение выходного канала соответствующего распыливающего отверстия.

Для оценки влияния конструкции распылителей форсунок на показатели дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) проведены его испытания на моторном стенде АМО «ЗиЛ». Дизель имел топливную систему, которая включала в себя ТНВД фирмы Motorpal типа РР4М10U1f и форсунки ФДМ-22 с давлением начала впрыскивания  $p_{\text{фо}}=21,0$  МПа. Форсунки поочередно оснащались серийными распылителями НЗТА типа 145.1112110 и опытными распылителями НЗТА с канавками, выполненными на носке распылителя. При испытаниях регулировочные параметры оставались неизменными.

При экспериментальных исследованиях дизеля Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики отмечена зависимость его показателей от типа распылителей. Замена серийных распылителей на опытные не приводила к заметным изменениям удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  - на большинстве режимов эти изменения  $g_e$  составили около 2%. При использовании опытных распылителей отмечена тенденция к снижению дымности ОГ  $K_x$ , особенно заметная на режимах с высокой частотой вращения. На режиме с  $n=2400$  мин<sup>-1</sup> установка опытных распылителей приводит к



снижению дымности ОГ с 40 до 37% по шкале Хартриджа. На режимах с пониженной частотой вращения зависимость дымности ОГ от типа распылителя противоречива. Если на режиме с  $n=1080 \text{ мин}^{-1}$  использование опытных распылителей сопровождается снижением дымности ОГ с 55 до 50%, то на режиме с  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  – ростом дымности ОГ с 49,5 до 54,5%.

Испытания дизеля Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла показали, что зависимость концентрации в ОГ оксидов азота  $C_{\text{NO}_x}$  от типа распылителя является неоднозначной: на режиме холостого хода при  $n=850 \text{ мин}^{-1}$  большее содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ  $C_{\text{NO}_x}$  отмечено при установке серийных распылителей - 0,0140% против 0,0125% при использовании опытных распылителей. На режимах с  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ мало зависит от типа распылителя. На режиме максимального крутящего момента оба типа распылителей обеспечивают одинаковое содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ -  $C_{\text{NO}_x}=0,0550\%$ . На режимах с  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  установка опытных распылителей сопровождается некоторым увеличением содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ. На режиме максимальной мощности замена серийных распылителей на опытные приводит к увеличению  $C_{\text{NO}_x}$  с 0,0435 до 0,0460%. Однако интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный массовый выброс  $\text{NO}_x$  оказался меньшим при использовании опытных распылителей -  $e_{\text{NO}_x}=5,723 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  против  $e_{\text{NO}_x}=5,749 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  для серийных распылителей. Замена серийных распылителей на опытные сопровождается снижением содержания монооксида углерода в ОГ  $C_{\text{CO}}$ . На режиме холостого хода при  $n=850 \text{ мин}^{-1}$   $C_{\text{CO}}$  снизилось с 0,054 до 0,042%, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,180 до 0,156%, на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,081 до 0,079%. Интегральный выброс монооксида углерода  $e_{\text{CO}}$  снизился с 7,872  $\text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  при использовании серийных распылителей до 6,893  $\text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  при установке опытных распылителей. Замена серийных распылителей на опытные на режиме холостого хода при  $n=850$

мин<sup>-1</sup> приводит к уменьшению содержания несгоревших углеводородов в ОГ  $C_{CH_x}$  с 0,0510 до 0,0495%. Наибольшая зависимость содержания  $CH_x$  в ОГ от типа распылителя отмечена на режимах с  $n=1500$  мин<sup>-1</sup>. На режиме максимального крутящего момента переход от серийных распылителей к опытным сопровождается снижением  $C_{CH_x}$  с 0,045 до 0,043%. На режимах с  $n=2400$  мин<sup>-1</sup> влияние типа распылителя на концентрацию  $CH_x$  в ОГ неоднозначно. Так, на режиме с 10%-ной нагрузкой (при  $M_e=30...33$  Н·м) серийные распылители обеспечивают содержание  $CH_x$  в ОГ  $C_{CH_x}=0,078\%$ , а опытные –  $C_{CH_x}=0,070\%$ . На режиме максимальной мощности величины  $C_{CH_x}$  составляют соответственно 0,0345 и 0,0390%. Интегральный выброс углеводородов при использовании серийных и опытных распылителей составил соответственно 2,207 и 2,040 г/(кВт·ч).

Проведенные исследования дизеля Д-245.12С подтвердили возможность улучшения качества рабочего процесса дизеля, оснащенного опытными распылителями. При этом снижается эмиссия оксидов азота на 0,5%, монооксида углерода – на 12,4%, углеводородов – на 7,6%.

**Хачиян А.С., Кузнецов В.Е., Шишлов И.Г., Вакуленко А.В.**  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Предварительные результаты исследования пределов качественного регулирования газового двигателя**

На кафедре «ТиАТД» ведутся работы, направленные на снижение в выбросах двигателей внутреннего сгорания основного парникового газа- двуокиси углерода ( $CO_2$ ), на примере создания газового двигателя нового поколения, работающего с дизельной степенью сжатия и имеющего экономичность не ниже, чем в дизеле. Работы ведутся по двум направлениям.

По первому направлению применено внешнее смесеобразование и воспламенение от минимальной (4...5 мг) порции тонко распыленного дизельного топлива, впрыскиваемой аккумуляторной топливной системой с электрогидравлической форсункой. В целях экономии средств опыты проводились на отсеке двигателя V8. На полной нагрузке получили индикаторный к.п.д. не ниже, чем в базовом дизеле. Газовый двигатель устойчиво работает до  $\alpha=4,36$ . Определены на ряде режимов индикаторные диаграммы.

По второму направлению применено внутреннее смесеобразование и воспламенение от свечи накаливания. Спроектирована и изготовлена газовая форсунка с гидроприводом от импульса давления, подаваемого в управляющую гидрополость форсунки из аккумулятора с дизельным топливом. Разработаны методика и программа расчета подачи газа в цилиндр. Выполнены доводочные опыты и определена характеристика подачи газа через форсунку в зависимости от длительности управляющего импульса.

По обоим направлениям проведены расчеты по режимам 13 ступенчатого цикла, показавшие возможность снижения выбросов основного парникового газа – двуокиси углерода на 25,5...27,6%.

**Федянов Е.А., Иткис Е.М., Кузьмин В.Н.**

Волгоградский государственный технический университет

### **Моделирование динамики тепловыделения в двигателях с процессом HCCI**

Существенное снижение выбросов оксидов азота и твердых частиц с отработавшими газами ДВС может в перспективе дать применение рабочего процесса с самовоспламенением от сжатия сильно обедненной гомогенной топливовоздушной смеси (процесс HCCI). Для оценки возможного уровня токсичности отработавших газов двигателей с таким рабочим процессом пытаются использовать математические модели, основанные на описании химической

кинетики реакций самовоспламенения и горения. Скорость реакций вычисляют в соответствии с законом действующих масс, константы скорости этих реакций находят по уравнению Аррениуса.

Опыт применения подобных моделей показывает, что они позволяют с достаточной, как правило, точностью предсказывать момент начала активного тепловыделения, однако, расчет кинетики реакций указанным выше способом не дает правильной картины процесса в основной фазе горения. Расчетная скорость тепловыделения во всех случаях оказывается существенно большей, чем это наблюдается в эксперименте. Последнее свидетельствует о том, что в условиях замкнутой камеры сгорания скорости реакций горения оказываются ниже, чем это следует из закона действующих масс и уравнения Аррениуса. Проведенный сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных позволил сделать вывод о том, что различие фактической и расчетной скоростей сгорания тем больше, чем больше избыток воздуха в топливовоздушной смеси. Более того, скорость сгорания уменьшается в ходе самого этого процесса по мере накопления конечных продуктов.

Для того чтобы правильно воспроизводить экспериментально наблюдаемую динамику тепловыделения в основной фазе сгорания, а также учитывать зависимость скорости тепловыделения от избытка воздуха, предлагается ввести в расчет константы скорости реакций по уравнению Аррениуса две корректирующие функции. Первая из этих функций  $k_\alpha = f(\alpha)$  отражает влияние на скорость реакций самовоспламенения и горения величины избытка воздуха в исходной топливовоздушной смеси, а вторая  $k_C = f(C_b)$  учитывает замедление скорости выгорания топлива по мере роста концентрации продуктов сгорания в ходе процесса. Величина  $k_\alpha$  введена в уравнение Аррениуса в виде дополнительного множителя к аргументу экспоненциальной функции. Зависимость этой величины от коэффициента избытка воздуха принята логарифмической:

$$k_\alpha = a_1 \cdot \ln(\alpha) + 1. \quad (1)$$

Поправка  $k_C$  входит в уравнение Аррениуса в виде дополнительного множителя, при этом ее зависимость от концентрации конечных продуктов сгорания в реагирующей смеси предлагается задавать в виде степенной функции:

$$k_C = 1 - \left[ \frac{C_b}{C_b^{end}} \right]^x, \quad (2)$$

где  $C_b$  – концентрация конечных продуктов сгорания в текущий момент процесса;  $C_b^{end}$  – концентрация тех же продуктов при полном сгорании топлива и параметрах состояния смеси, соответствующих текущему моменту процесса;  $x$  – показатель степени.

Таким образом, с учетом двух вышеназванных корректирующих функций константа скорости каждой химической реакции, входящей в кинетическую схему, рассчитывается по модифицированному уравнению Аррениуса:

$$K = k_C \cdot A \cdot T^n \cdot \exp\left(-\frac{k_\alpha \cdot E}{R \cdot T}\right). \quad (3)$$

Результаты проведенных расчетов показывают, что использование предлагаемых корректирующих функций при расчете кинетики реакций горения позволяет добиться хорошего приближения результатов расчета основной фазы сгорания в двигателях HCCI к экспериментальным данным.

**Яманин И.А.**

Ярославский государственный технический университет

### **Динамические модели поршневых двигателей с переменными степенью сжатия и рабочим объемом**

Одним из путей значительного улучшения экологических характеристик автомобилей является применение двигателей с переменными степенью сжатия  $\varepsilon$  и рабочим объемом  $V_h$ , имеющих, как

правило, отличные от кривошипно-шатунных преобразующие механизмы. Их виброакустические характеристики (в отличие от снижения выбросов токсических веществ) изучены крайне мало.

При проектировании таких двигателей возникает проблема обоснованного выбора кинематической схемы, расчета виброактивности и некоторых специфических динамических процессов (например, переходных при перемене степени сжатия). Экспериментальное решение этой задачи крайне осложнено, а потому возрастает роль расчетных исследований, для обеспечения которых необходимы корректные модели, граничные и начальные условия.

Виброактивность двигателей на ранних стадиях проектирования может служить одним из комплексных критериев, позволяющих корректно выбрать как рациональную кинематическую схему преобразующего механизма, так и конструктивные соотношения последнего: здесь учитываются реальная геометрия звеньев (обеспечиваемая в процессе твердотельного моделирования), возмущающие силы, упругие и диссипативные свойства конструкционных материалов и опор. Ранее показано, что здесь могут быть использованы модели, в которых двигатель рассматривается как система взаимодействующих твердых тел на упругих опорах (для исследования низкочастотного диапазона) или континуальные модели, предусматривающие численное решение задач в высокочастотной области спектра.

С использованием моделей первого типа в среде программных продуктов среднего уровня для исследования динамики механических систем решена задача о переходном процессе перемены степени сжатия, позволяющая впоследствии оценить быстродействие и энергоемкость соответствующих устройств. При этом показано, что расчет колебаний двигателя на упругих опорах может считаться новым методом вычисления значений критерия неуравновешенности двигателя.

В высокочастотной области спектра наиболее эффективной представляется континуальная модель, учитывающая податливость

звеньев, их контактное взаимодействие и динамическое приложение нагрузки. В этих моделях реализован кибернетический подход, когда спектр исследуемой выходной величины выражается через спектр входной величины и амплитудно-частотную характеристику (дескриптор) системы.

Рассмотренным способом автором выполнено сравнение виброактивности двигателей с переменными степенью сжатия и рабочим объемом. Сравнение результатов спектрального анализа позволяет сделать обоснованное заключение о преимуществах одной из конструкций в зоне наиболее используемых значений частоты вращения коленчатого вала.

Однако реализация таких расчетов возможна лишь в среде «тяжелых» программных продуктов, а их развитие должно идти в направлении повышения корректности описания граничных и начальных условий, что потенциально достижимо, однако, требует применения для расчета мощной вычислительной техники, либо алгоритмов распараллеливания вычислений.

**Марков В.А., Девянин С.Н., Шустер А.Ю., Стремяков А.В.**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГАУ им. В.П. Горячкина

### **Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизелей**

Обеспечение баланса углекислого газа в атмосфере и снижение парникового эффекта достигаются при использовании топлив растительного происхождения. Среди этих топлив одними из наиболее перспективных являются растительные масла. В условиях России привлекательным представляется применение в качестве топлива для ДВС подсолнечного масла (ПМ). Для использования в качестве топлива для дизелей подходят низкокачественные и просроченные растительные масла, а также фритюрные масла, которые

могут быть использованы в чистом виде, в смеси с дизельным топливом (ДТ) или после переработки в метиловый эфир.

Для оценки возможности использования ПМ в качестве топлива проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4ЧН 11/12,5) на моторном стенде АМО «ЗиЛ». Дизель был оснащен топливным насосом высокого давления фирмы «Motorpal» (Чехия) модели РР4М10U1f и форсунками АО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс) с распылителями DOP 119S534 фирмы «Motorpal» и давлением начала впрыска  $P_{\text{фо}}=21,5$  МПа. При испытаниях регулировочные и установочные параметры дизеля были штатными и неизменными. Исследовалось товарное дизельное топливо (ДТ) и рафинированное дезодорированное ПМ Невинномысского маслоэкстракционного завода. Испытания проводились на чистом ДТ и смесевом топливе, содержащем 80% ДТ (по объему) и 20% ПМ.

При работе дизеля Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики на смеси ДТ и ПМ удельный эффективный расход топлива  $g_e$  несколько увеличивается по сравнению с работой на ДТ. При переводе двигателя с ДТ на смесь ДТ и ПМ на режиме максимальной мощности при  $n=2400$  мин<sup>-1</sup> расход топлива  $g_e$  возрос с 246,8 до 256,2 г/(кВт·ч), а на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600$  мин<sup>-1</sup> - с 222,6 до 231,1 г/(кВт·ч). Однако эффективный КПД двигателя  $\eta_e$  при этом изменяется незначительно. Использование смесевого топлива приводит к значительному снижению дымности ОГ  $K_x$  во всем диапазоне скоростных режимов внешней скоростной характеристики. При переводе дизеля с ДТ на смесевое топливо на режиме максимальной мощности при  $n=2400$  мин<sup>-1</sup> дымность ОГ снизилась с 14,5 до 11,0 % по шкале Хартриджа, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600$  мин<sup>-1</sup> – с 20,0 до 14,0 %, а на режиме внешней скоростной характеристики с  $n=1080$  мин<sup>-1</sup> – с 38,0 до 27,5 %.

Результаты экспериментальных исследований Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла свидетельствуют о



том, что при переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смесевое топливо объемная концентрация в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$  снижается на всех режимах этого цикла. На режиме холостого хода при  $n=900 \text{ мин}^{-1}$   $C_{NOx}$  снизилась с 0,015 до 0,0135%, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,068 до 0,0615%, на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,0605 до 0,055%. Содержание монооксида углерода в ОГ  $C_{CO}$  сравнительно мало зависит от типа топлива. При переходе с ДТ на смесь ДТ и ПМ на режиме холостого хода при  $n=900 \text{ мин}^{-1}$   $C_{CO}$  уменьшилось с 0,033 до 0,030%, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,0315 до 0,0285%, на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – увеличилось с 0,0165 до 0,0170%. Тип топлива сравнительно мало влияет и на концентрацию в ОГ несгоревших углеводородов  $C_{CHx}$ . На режиме холостого хода при  $n=900 \text{ мин}^{-1}$  переход с ДТ на смесь ДТ и ПМ приводит к увеличению  $C_{CHx}$  с 0,0190 до 0,0215%, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,073 до 0,095%, на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – с 0,0100 до 0,0108%.

Проведены также испытания дизеля Д-245.12С на смесях 90% ДТ с 10% ПМ и 95% ДТ с 5% ПМ. В диапазоне изменения содержания ПМ в смесевом биотопливе  $C_{ПМ} = 0...20\%$  отмечено увеличение удельного эффективного расхода топлива  $g_e$ , составившее  $\Delta g_e = 8,5-9,4 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . Но при этом на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  эффективный КПД дизеля  $\eta_e$  возрос с 0,343 до 0,357, а на режиме максимального крутящего момента при  $n=1600 \text{ мин}^{-1}$  - с 0,381 до 0,395. В указанном диапазоне изменения  $C_{ПМ}$  отмечено снижение дымности ОГ  $K_x$ , составившее на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента  $\Delta K_x = 3,5...6,0 \%$  по шкале Хартриджа. При увеличении  $C_{ПМ}$  с 0 до 20% интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный массовый выброс оксидов азота  $e_{NOx}$  снизился с 6,630 до 6,078 г/(кВт·ч), т.е. на 8,3%. Выброс монооксида азота  $e_{CO}$  он возрос с 2,210 до 2,257 г/(кВт·ч), т.е. на 2,1%. Отмечен рост эмиссии углеводородов  $e_{CHx}$  с 0,580 до 0,647

г/(кВт·ч), т.е. на 11,5%. В целом исследования подтвердили возможность эффективной работы дизеля на смесях ДТ и ПМ. Использование этих смесей позволяет не только обеспечить замещение нефтяных топлив на альтернативные и утилизацию непригодных растительных масел, но и улучшить показатели токсичности ОГ дизеля.

**Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.А., Захарченко А.Н.**  
Национальный транспортный университет (Украина)

**Использование биоэтанола в двигателях дорожных транспортных средств для расширения топливной базы автомобильного транспорта**

В последнее время возрастает дефицит топлив нефтяного происхождения – бензина и дизельного топлива. Один из путей решения топливной базы автомобильного транспорта – использование альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). В настоящее время приобрело большое практическое значение использование альтернативных топлив в ДВС с искровым зажиганием особенно биоэтанола, который получают из возобновляемых ресурсов. В частности, в 2005 году в мире было произведено около 46 млрд. л топливного биоэтанола.

С целью постепенного замещения использования бензина на автомобильном транспорте и улучшения его показателей, в частности октанового числа (ОЧ), применяют биоэтанол. ОЧ биоэтанола составляет 99 ед. по моторному методу. В настоящее время используют биоэтанол в виде добавок к бензину или в чистом виде. Основными недостатками биоэтанола как моторного топлива являются меньшая в 1,7 раз низшая теплота сгорания, возможность расслоения бензоэтанольных смесей, особенно при низких температурах, ухудшенные пусковые свойства двигателя. Положительным при использовании в качестве добавок биоэтанола к бензину является

образование меньшего количества вредных веществ в отработавших газах (ОГ).

Работы по использованию биоэтанола для питания ДВС проводятся в Национальном транспортном университете (г. Киев, Украина) на протяжении длительного времени.

Для расширенного использования биоэтанола в ДВС разработана технология и конструкция систем питания для отдельной подачи бензина и биоэтанола в цилиндры двигателя. На конструкцию систем питания получены патенты Украины на изобретение. Особенность таких систем заключается в том, что пуск двигателя, прогрев и работа в режимах холостого хода и малых нагрузок осуществляются на бензине, с увеличением нагрузки количество биоэтанола, подаваемого в цилиндры двигателя, увеличивается, бензина – уменьшается. Работа двигателя на полных нагрузках осуществляется только на биоэтаноле. При этом исключаются недостатки использования биоэтанола, связанные с расслоением топливовоздушной смеси, т.к. процесс смешивания топлив осуществляется во впускном трубопроводе, а запуск двигателей осуществляется на бензине. При использовании технологии отдельной подачи биоэтанола и бензина в цилиндры двигателя возможно использование бензинов с малыми ОЧ – 40...60 ед. по моторному методу. Добавка биоэтанола к бензину, величина которой изменяется в зависимости от нагрузки, увеличивает ОЧ смеси. Это исключает работу двигателя с детонацией на всех скоростных и нагрузочных режимах. Проведенными исследованиями в реальных условиях эксплуатации на маршрутах по улицам города Киева установлено, что замещение бензина биоэтанолом может составлять до 40%. При этом массовые выбросы в окружающую среду вредных веществ, приведенные к оксиду углерода, снижаются.

Наряду с исследованиями по отдельной подаче биоэтанола и бензина, которая возможна при изменении конструкции двигателей, проведены исследования использования биоэтанола как добавки к бензину. Исследованиями, проведенными на различных типах дви-

гателей с карбюраторными системами питания и системами впрыскивания, подтверждено, что добавка до 20% биоэтанола к бензину не требует изменения конструкции двигателя, не ухудшая его показателей. Наличие кислорода в составе биоэтанола, при добавках его к бензинам, в карбюраторных двигателях приводит к обеднению топливовоздушной смеси, уменьшает выбросы продуктов неполного сгорания топлива. Вместе с тем добавка биоэтанола уменьшает скорость горения топлива, что ухудшает эффективность его использования. Поэтому при использовании добавок биоэтанола к бензину необходимо изменять установочный угол опережения зажигания.

Исследованиями на математической модели, адекватность которой подтверждена экспериментально, установлено, что при оптимальном угле опережения зажигания расход смесового бензина увеличивается приблизительно на 2,5%. Массовые выбросы вредных веществ, приведенные к СО, - при 10%-ной добавке - уменьшаются на 13,3%, при 20%-ной - на 34,4%.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные работы показали, что использование биоэтанола для ДВС с искровым зажиганием является целесообразным как точки зрения расширения топливной базы автомобильного транспорта, так и снижения загрязнения окружающей среды автомобилями.

**Кавтарадзе Р.З., Сергеев С.С.**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

### **Исследование локальных образований оксидов азота и сажи на основе трехмерной нестационарной модели сгорания**

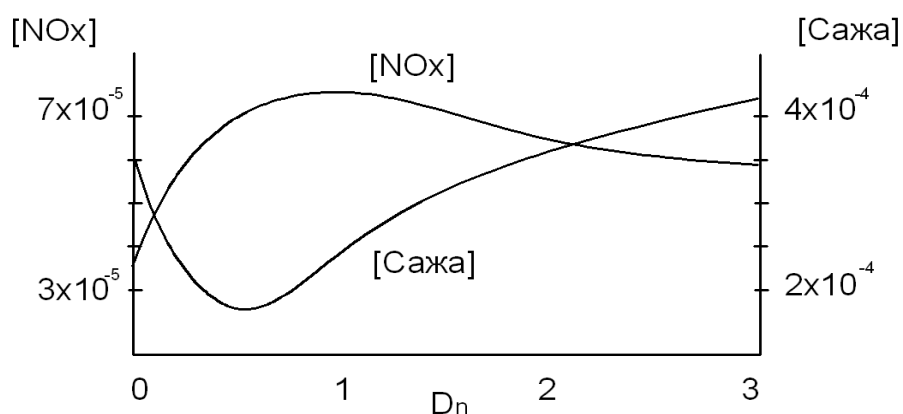
Существующий «конфликт целей» между выбросами оксидов азота и сажи приводит к тому, что мероприятия по снижению концентрации твердых частиц обычно способствуют увеличению содержания оксидов азота в выпускных газах, и наоборот.

Целью работы было исследование влияние интенсивности вихревого движения заряда  $D_n = n_v/n$  ( $n_v, n$  – частота вращения воздушного вихря вокруг оси цилиндра и коленчатого вала соответственно) на образование вредных веществ в камере сгорания быстрого дизеля.

Численные исследования проводятся с помощью трехмерной модели рабочего процесса, основанной на решении дифференциальных уравнений в частных производных (уравнения неразрывности, количества движения, энергии и диффузии), к которым добавляются также уравнения химической кинетики и модели турбулентности (в данном случае k-ε модель). Реализация модели осуществляется в программном комплексе FIRE (AVL, Австрия).

В основе расчета концентраций оксидов азота используется расширенный механизм Зельдовича.

Существующие модели сажеобразования отличаются главным образом степенью детализации описания процесса. Рассматриваются полуэмпирические модели N. Hiroyasu и K. Boulouchos, а также детальная кинетическая модель на основе Flamelet – библиотек. В качестве базовой модели для исследований выбрана модель N. Hiroyasu.



Результирующие значения концентраций сажи и оксидов азота для различных интенсивностей закруток

В результате проведенного исследования было оценено изменение экологических и эффективных показателей дизеля с непосредственным впрыскиванием в зависимости от интенсивности вихревого движения заряда, сгенерированного впускной системой (рисунки). Определены значения интенсивности вихревого движения заряда, обеспечивающие оптимальные соотношения между концентрациями оксидов азота и сажи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №09-08-00279а).

**Патрахальцев Н. Н., Казаков С. А.  
Фернандо Имал Д. К. П. (Шри-Ланка)**

**Регулирование рабочего процесса дизеля  
изменением физико-химических свойств топлива**

Ограниченность запасов нефти, неравномерность их географического размещения, высокие ежегодные объёмы добычи, ухудшение качества нефти в новых месторождениях, повышение глубины её залегания и в итоге рост затрат на их разработку обуславливают необходимость экономии нефтяного сырья и диверсификации топливно - энергетических ресурсов.

Многолетний опыт перевода автомобильного транспорта на газовые топлива показывает, что длительность процесса создания соответствующей инфраструктуры существенно ограничивает возможности крупномасштабного освоения этих топлив. В то же время необходимость уже сегодня решать энергетические, экологические, в том числе региональные, проблемы и проч. вынуждает идти по пути постепенного внедрения этих топлив в практику эксплуатации. Улучшение эколого - экономических, а часто и энергетических показателей двигателей возможно за счёт изменения физико-химических и моторных свойств топлива на основе применения альтернативных топлив (АТ).

Метод регулирования рабочего процесса дизеля изменением физико – химических свойств топлива иногда для сокращения называют методом «физико – химического» регулирования (ФХР). Этот метод подразумевает оперативное, во время работы дизеля, изменение свойств топлива добавкой к нему жидких или газообразных веществ, причём в общем случае как горючих, так и негорючих, как жидких, так и газообразных. Важно, что эти добавки вводятся в само топливо непосредственно перед впрыскиванием его в цилиндр дизеля. В результате этого изменяются характеристики впрыскивания, распыливания, распределения топлива по камере сгорания и т. д. В конечном итоге изменяются и свойства горючей смеси, процессы воспламенения – сгорания.

Возможность реализации метода ФХР дизеля появилась, по существу, с появлением ряда систем топливоподачи, получивших название систем топливоподачи с регулированием начального давления топлива (РНД). Сущность работы систем этого типа заключается в следующем. С помощью различных клапанов, распределителей различные добавки, присадки вводятся в линии высокого давления (ЛВД) топливных систем в максимальной близости к форсунке, где они смешиваются с основным топливом, а затем впрыскиваются штатной форсункой обычным порядком в виде смесей, растворов, эмульсий в цилиндры двигателя.

В проводившихся в РУДН исследованиях в качестве добавок к ДТ использованы этанол, бензин А-76, легкие синтетические парафиновые ( $C_nH_{2n}$ ) углеводороды, вода, водные растворы ряда веществ, обладающих каталитическим действием (например  $BaCl_2$ ), аммиак, сжиженный нефтяной газ, количество которых варьировалось до 50 % от всей цикловой подачи топлива. Исследовались возможности воздействия на процесс дизеля растворением в топливе воздуха и природного газа, подаваемых в ЛВД через клапан РНД в количестве до 30 % (объёмных).

**Врублевский А.Н., Абрамчук Ф.И., Денисов А.В.**

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Решение задачи поиска оптимальных параметров  
дизельной топливной аппаратуры**

Ведущей организацией Украины - Харьковским конструкторским бюро по двигателестроению - продолжаются работы по созданию аккумуляторной топливной аппаратуры (ТА) с электронным управлением. Изготовлены и испытаны опытные образцы ТА с электромагнитными форсунками. В процессе проектирования решалась задача по многокритериальной оптимизации параметров ТА.

При решении оптимизационной задачи использован современный метод, предложенный И.М.Соболев и Р.Б. Статниковым. В основе метода лежит численное исследование (сканирование) пространства параметров ТА, которое проводилось в три этапа:

- составление таблиц испытаний. Последовательно выбирается 128 пробных точек с набором параметров, сформированным с помощью генератора ЛП<sub>r</sub>-последовательности. В каждой из точек рассчитывается процесс топливоподачи и вычисляются значения всех критериев;
- выбор критериальных ограничений, определяющих эффективность работы, а также компоновку элементов системы и ТА на двигателе в целом. В качестве критериальных ограничений приняты максимальное давление впрыскивания, расход топлива на управление форсункой, масштаб электромагнита;
- проверка непустоты множества допустимых точек.

Выбор допустимых пределов варьирования каждого из 13 параметров ТА проведен с учетом ограничений, связанных с компоновкой, изготовлением, условиями эксплуатации топливной системы. В пределах исследуемой области изменение каждого параметра составляет  $\pm(40...50)$  %. Это позволяет исследовать обширную



область многомерного пространства и определить направление поиска оптимума. Ограничением являлись не только границы изменения параметров, но и отношение таких параметров, как диаметры иглы и мультипликатора, эффективные проходные сечения дросселей камеры управления, диаметры иглы и запорного пояска. Данные ограничения задавались на стадии формирования исходных данных путем задания коэффициентов, определяющих отношения параметров.

Для получения множества паретовских точек в трехмерном пространстве удобно, чтобы все три критерия стремились к минимуму, причем имели безразмерную форму. Для этого предложены безразмерные критерии:  $K_p = p_{ак} / p_a$ , где  $p_{ак}$ ,  $p_a$  – давления топлива в гидроаккумуляторе и впрыскивания, соответственно;  $K_q = q_z / q_c$ , где  $q_z$ ,  $q_c$  – расход топлива на управление и цикловая подача топлива;  $M$  – масштаб электромагнита. Ввод безразмерных критериев позволил оценить относительную долю топлива, затраченного на управление, а величину  $p_a$  сравнить с уровнем давления  $p_{ак}$ . Множество паретовских точек с наилучшими значениями критериев образовали компромиссную поверхность (рис.1).

В результате оптимизации по трем критериям определено, что повышения эффективности впрыскивания при заданной схеме электрогидравлической форсунки можно добиться путем увеличения габаритов электромагнита до  $M=1,125$ . Дальнейшее увеличение  $M$  влечет за собой изменение либо конструкции, либо параметров ЭГФ. В любом случае это приводит к решению новой оптимизационной задачи, а также связано с необходимостью изменять положение форсунки на двигателе. Желаемое проектировщиком двигателя уменьшение габаритов  $M < 1$  ухудшает показатели работы ТА, что делает такой шаг при заданной схеме форсунки невозможным.

Для оптимизированной ТА аккумуляторного типа получены режимные карты (пример см. рис. 2), которые используются при организации управления электронным впрыскиванием топлива высокооборотного дизеля.

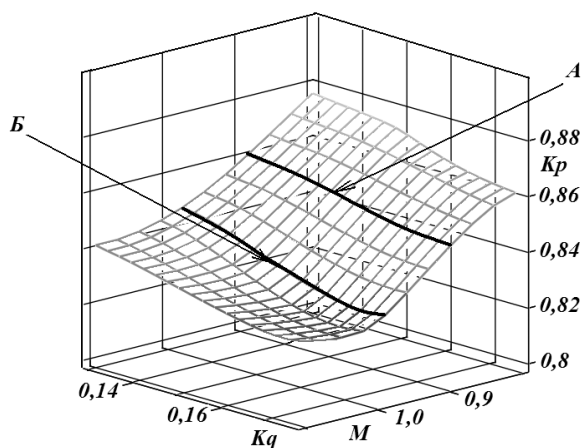


Рис. 1. Компромиссная поверхность в пространстве критериев  $K_p$ ,  $K_q$ ,  $M$  (А – компромиссная кривая, полученная при  $M = 0,9$ ; Б – компромиссная кривая, полученная при  $M = 1$ )

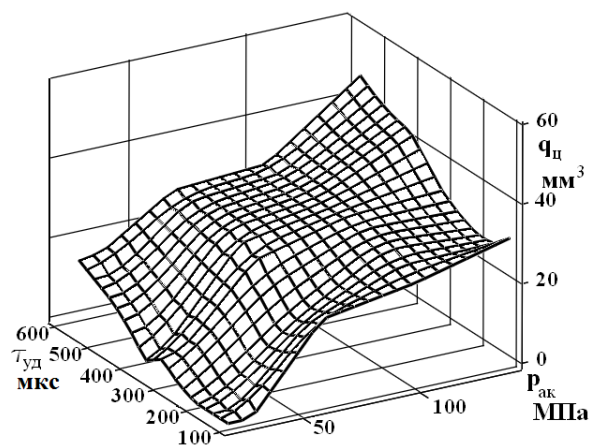


Рис. 2. Зависимость цикловой подачи от давления в аккумуляторе и длительности фазы удержания для оптимизированной ТА (длительность форсированного импульса 0,21 мс)

**Г.Н. Злотин Г.Н., Лютин К.И., Федянов Е.А.**

Волгоградский государственный технический университет

### **Использование нейронных сетей для вибродиагностики газораспределительного механизма ДВС**

Для современного автомобильного двигателестроения актуальным является создание и совершенствование систем бортовой диагностики, позволяющих контролировать техническое состояние двигателя непосредственно на автомобиле в процессе эксплуатации.

Известно, что оценка технического состояния ряда узлов и деталей двигателя возможна на основе виброакустических методов, однако для их применения в системах бортовой диагностики должны быть найдены такие способы получения и анализа данных о вибрациях, которые не требуют установки на двигатель большого числа датчиков вибраций и позволяют обойтись мощностью бортового компьютера современного автомобиля.

Системы управления рабочим процессом двигателя большинства современных автомобилей содержат вибрационный датчик детонации. На наш взгляд, сигнал этого датчика можно применить для бортовой диагностики. Основная проблема в этом случае заключается в выборе способа анализа сигнала с целью получения диагностических критериев.

Предлагается использовать для получения диагностических критериев нейронно-сетевую модель. Это предложение опирается на основное свойство нейронных сетей – их способность настраиваться путем обучения на характерные для моделируемого объекта связи между входными и выходными величинами. Преимущества такого решения задачи заключаются в следующем. Во-первых, нейронно-сетевая модель не требует каких-либо представлений о физической картине формирования спектра вибраций. Во-вторых, обученная нейронная сеть не требует больших вычислительных мощностей. В-третьих, одна и та же нейронная сеть может настраиваться на разные марки двигателей. Наконец, нейронная сеть может не только анализировать спектр вибраций, но и выполнять функции аналого-цифрового преобразователя.

Практическая проверка предлагаемого принципа создания системы бортовой вибродиагностики выполнена нами применительно к задаче контроля зазора в механизме газораспределения двигателя ВАЗ 21083.

В качестве исходных данных для диагностики ГРМ использованы спектры вибрации блока двигателя при различных значениях зазора в приводе клапанов. Регистрация сигнала вибрации осуществлялась в диапазоне частот от 0 до 20 кГц.

Для анализа спектра была использована нейронная сеть с одним внутренним слоем, программно реализованная нами на ЭВМ.

На основе визуального сопоставления спектров вибраций исправного двигателя и двигателя с увеличенными зазорами в газораспределительном механизме было выявлено пять частотных областей, в которых наблюдаются различия в амплитудах вибраций.

Средние значения частот для указанных областей составляют, соответственно, 10650, 11250, 11520, 12250, и 13700 Гц. Амплитуды вибраций на этих частотах были выбраны в качестве входных сигналов нейронной сети. Кроме того, на вход сети подавались значения частоты вращения, разрежения за дроссельной заслонкой, угла опережения зажигания. В качестве единственного выходного сигнала был принят критерий неисправности – величина, изменяющаяся от 0 для исправного двигателя до 1 для двигателя с заведомо увеличенными зазорами в газораспределительном механизме.

Для обучения сети использован способ обратного распространения ошибки, основанный на методе градиентного спуска. Обучающая выборка была составлена из данных 20 опытов, выполненных при различных зазорах в газораспределительном механизме и на различных частотных и нагрузочных режимах. При обучении максимальная и средняя допустимые погрешности были выбраны одинаковыми.

Для оценки качества обучения использовались данные опытов, не входивших в обучающую выборку. В результате проверки качества обучения установлено, что использованный нами вариант нейронно-сетевой модели, а именно трехслойный персептрон, позволяет выявлять с вероятностью не менее 96% увеличение зазора в газораспределительном механизме.

**Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А.**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

### **Влияние модели турбулентности на расчетные параметры локального теплообмена в камере сгорания дизеля**

Изучение процессов теплообмена в камере сгорания (КС) поршневого двигателя осложнено необходимостью одновременного учета множества факторов: теплопроводности, конвекции и радиации, многофазности рабочего тела и др. На сегодняшний день для

численного моделирования процессов теплообмена в цилиндре ДВС наиболее перспективными являются трехмерные математические модели, описывающие нестационарное движение рабочего тела с учетом химической кинетики. Для определения параметров течения в данных моделях используются модели турбулентности, которые для областей вблизи твердой поверхности дополняются пристеночными функциями, позволяющими связать решение в первой расчетной ячейке (контрольном объеме, граничащем со стенкой) с параметрами течения у стенки.

В работе проводилось численное исследование процессов локального теплообмена в КС дизеля, целью которого был выбор моделей турбулентности, пристеночных функций и моделей теплообмена в пристеночной области, позволяющих адекватно определить локальные тепловые потоки в стенку камеры сгорания.

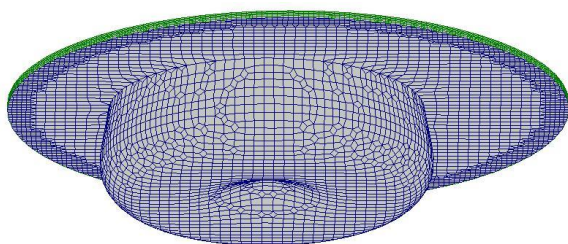


Рис. 1. Разбиение расчетной области (камера сгорания двигателя ЯМЗ-236)

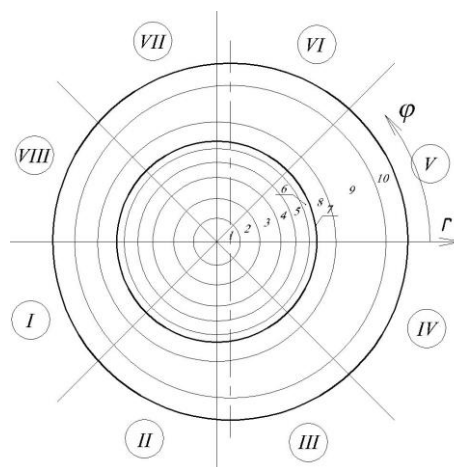


Рис. 2. Сегментизация теплопринимающей поверхности поршня

Численная реализация модели осуществляется программным комплексом FIRE, разработанным фирмой AVL List GmbH (Австрия). На первом этапе камера сгорания разделяется на конечное число контрольных объемов (в данном случае 26580), деформируемых в направлении оси цилиндра (рис. 1). На рис.2 показаны зоны, на ко-

торые разделяется огневое днище поршня, для определения на них граничных условий III рода.

Верификация расчетных данных по локальным параметрам теплообмена осуществлялась сопоставлением расчетных распределений коэффициента теплоотдачи по поверхности огневого днища поршня с полученными на основании экспериментальных данных.

В области кромки КС с точки зрения определения максимальной тепловой нагрузки наиболее адекватными являются  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности в сочетании с гибридными пристеночными функциями, а также  $k$ - $\varepsilon$  при использовании модели теплообмена Han-Reitz. Также возможно применение  $k$ - $\zeta$ - $f$  модели в стандартной модификации, показавшей наибольшее приближение к данным, полученным из эксперимента.

**Мурзин В.С., Маслов А.П.**  
ООО «ГСКБ «Трансдизель»

### **Принципы формирования модельного ряда двигателей на ранней стадии проектирования**

На основании результатов аналитических исследований отечественного и международного опыта по разработке и проектированию дизельных двигателей были выбраны конструктивные и схемные решения по построению модельного ряда двигателей. С целью получения максимального эффекта по унификации ряд двигателей в диапазоне мощностей от 44 до 552 кВт (60....750 л.с.) целесообразно выполнить с одинаковой размерностью (отношение диаметра к ходу поршня 13/15). Это позволит обеспечить наиболее высокий уровень межпроектной унификации (расчетное значение 77,5%), а также высокую технологичность при изготовлении, обслуживании и ремонте. В представленной ниже таблице показан модельный ряд двигателей, формирование которого было выполнено в зависимости от уровня мощности и особенностей конструкции.

Модель двигателя	Э4Т371		Э6Т370		Э8ТВ372			Э12ТВ373
Количество и расположение цилиндров	4P		6P		8V			12V
					Угол развала блоков цилиндров 90°			
Мощность, кВт	110	184	140	265	280	316	368	550
Рабочий объем двигателя, л	8		12		16			24
Литровая мощность, кВт/л	13,75...23		11,7...22,1		17,5...19,75			15.3...22,9
Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин <sup>-1</sup>	1700...2600							

Из таблицы видно, что в зависимости от типа двигателя уровень литровой мощности модельного ряда двигателей располагается в пределах от 11,7 до 23 кВт/л (от 15,8 до 31,25 л.с./л).

При соответствующем уровне литровой мощности свыше 23 кВт/л (30 л.с./л) максимальное давление цикла будет выше 15 МПа. Такое повышение силовой напряженности будет сопровождаться ростом температуры поршня до уровня его критических значений в 300 °С. Однако наблюдаемые в двигателестроении мировые тенденции позволяют сделать вывод о возможности форсирования двигателей до уровня 70 кВт/л (соответственно около 100 л.с./л), что, несомненно, приведет к еще большей тепловой напряженности поршня и потребует проведение работ по повышению его надежности.

В работе был выполнен анализ теплового состояния поршней следующих конструкций:

1 – монолитный без галереи, 2 - монолитный с галереей, 3 – стальной, 4 – составной конструкции ФГУП «НИИД».

Тепловое состояние различных конструкций поршней в зависимости от различного уровня высоты поршня					
На уровне		Конструкции поршней			
		1	2	3	4
Днища		317	265	420	341
1-го компрессионного кольца		263	216	285	266
2-го компрессионного кольца		236	189	190	191
3-го маслосъемного кольца		209	175	152	162
Юбка	Верх	191	168	113	132
	Низ	156	141	113	102

Вторым важным узлом, лимитирующим работоспособность двигателей, являются подшипники скольжения. Особенность конструктивного исполнения подшипникового узла заключается в том, что блоки двигателей модельного ряда выполнены туннельного типа, опоры коренных подшипников скольжения устанавливаются в блок по скользящей посадке. Это позволяет опорам коренных подшипников самоустанавливаться, что обеспечивает благоприятные условия для работы узла.

Коренные шейки коленчатого вала двигателей модельного ряда выбраны диаметром 105 мм, а шатунная 95 мм. Отношения ширины подшипника к его диаметру находятся в пределах 0,4, что по расчетным значениям гидромеханических характеристик исследуемых двигателей находятся в допустимых пределах.

Кроме этого, расчетные исследования гидромеханических характеристик коренных и шатунных подшипников показали, что возможно увеличение массы поступательно движущихся частей КШМ на 20%. Это не только улучшит гидромеханические характеристики



подшипников скольжения модельного ряда, но и позволит внедрить перспективные стальные и составные конструкции поршней.

**Грицук И.В., Адров Д.С.** - ДонНАСА,  
**Вербовский В.С.** - Институт газа НАН Украины

**Повышение эффективности использования топлива  
стационарными и передвижными источниками  
энергии при решении энергоэкологических проблем  
в автотранспортном комплексе**

На сегодняшний день при решении задач энергетической безопасности автотранспортного комплекса большое внимание уделяется совершенствованию конструкции и повышению эффективности работы резервных стационарных и передвижных источников энергии.

В условиях Донбасса актуальным является использование в качестве топлива шахтного метана, природного и других технических газов для выработки тепловой и электрической энергии. С 1 м<sup>3</sup> природного газа, можно получить до 3,5 кВт·ч электрической энергии и одновременно 4,5 кВт·ч тепловой энергии в виде горячей воды с температурой 90°С

Существуют два способа перевода дизельных двигателей для работы на газовом топливе. Первый – перевод дизеля в газодизельный процесс. Второй – конвертация дизеля в газопоршневой двигатель с организацией рабочего процесса по циклу Отто. При первом способе конвертированный двигатель не подвергается существенным конструктивным изменениям, а все газовое оборудование выполняется в виде "приставки" к двигателю. Составляющая дизельного топлива в газодизельном процессе – 5...15% от номинальной подачи в дизельном режиме.

Преимущества первого способа: сравнительная простота конвертации и возможность работы по дизельному или газодизельному циклу. Недостатки – дорогая составляющая дизельного топлива в рабочем процессе существенно влияет на экономическую эффективность эксплуатации двигателя.

При втором способе двигатель подвергается существенным конструктивным изменениям: снижается степень сжатия, устанавливается система электрического зажигания и пр.

Преимущества второго способа: наибольшая эффективность использования газового топлива (КПД до 44%). Недостатки – относительная дороговизна конвертации, невозможность работы на дизельном топливе.

Второй способ наиболее приемлем для создания электроагрегатов, работающих на газовом топливе, а также когенерационных установок на их базе.

Для достижения высоких энергетических показателей работы двигателя, топливной экономичности и низкого уровня содержания токсичных веществ в отработавших газах в ДонНАСА разработана когенерационная газопоршневая установка электрической мощностью 200 кВт на базе двигателя ТМЗ-8435.10 с использованием электронных систем управления двигателем и зажиганием. Конструктивные изменения заключаются в установке: свечей зажигания, системы питания газом, системы датчиков, на основе данных которых производится управление двигателем, а в частности, регулируется момент опережения зажигания и величина подаваемого топлива. В качестве системы управления выбраны контроллеры производства фирмы Heinzmann. Это связано с высокой гибкостью программного обеспечения и возможностью адаптации его к параметрам конкретного двигателя. Кроме электронного управления двигателем целесообразно применение электронного управления в системе регулирования подачи тепла от когенерационной установки. Отбор тепла производится от жидкостной системы охлаждения и отработавших газов двигателя.

Применение природного газа в качестве топлива для газопоршневого двигателя на базе дизеля и утилизация тепла позволяет повысить КПД электроагрегата до 85%.

Созданная установка обеспечивает электроэнергией котельную предприятия, а выработанная тепловая энергия подается в систему отопления, снижая таким образом нагрузку на котлах отопления.

Установка также используется для учебных целей и для проведения научных исследований по повышению эффективности применения газового топлива.

**Олисевиц О.В., Михальченко Д.А.,**

**Скороделов С.Д., Соленов Н.А.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Математическое моделирование и сравнительный  
расчетно-экспериментальный анализ электрогидравлических  
форсунок топливной системы COMMON RAIL**

Для достижения высоких экологических и экономических показателей дизеля необходимо постоянно совершенствовать конструкцию и параметры топливной системы, а также процессы управления топливоподачей (ТП) для всего диапазона рабочих режимов дизеля. Наиболее перспективной в этом отношении является получившая широкое распространение аккумуляторная система топливоподачи типа Common Rail (CR), обеспечивающая на каждом режиме оптимальные давления впрыскивания, углы опережения впрыскивания и максимально возможную управляемость характеристикой впрыскивания в сочетании с компактностью и удобством компоновки на двигателе.

На основании метода гидродинамического расчета разработаны математические модели и программы расчета аккумуляторной топливной системы (АТС) с тремя конструктивными схемами элект-

трогидравлических форсунок (ЭГФ) Bosch, Delphi и Siemens, позволяющие с достаточной для инженерных расчетов точностью проводить аналитическое исследование их рабочих процессов и определять необходимые параметры управляющих жиклеров и клапанов форсунки, обеспечивающих стабильность многофазного процесса топливоподачи.

Методы гидродинамического расчета АТС с ЭГФ типа CR основаны на численном интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся движение вязкого топлива в топливопроводе, соединяющем аккумулятор и ЭГФ, с учетом граничных условий на входе (аккумулятор) и выходе из топливопровода (ЭГФ).

Проведенные расчетные исследования АТС с ЭГФ показали пределы изменений основных конструктивных параметров, которые влияют на управляемость процессом топливоподачи (монотонность зависимости цикловой подачи от управляющего импульса) и другие показатели впрыскивания.

Установлено, что при многофазном процессе топливоподачи впрыскивание предварительной порции топлива оказывает влияние на величину основной дозы топлива, причем степень этого влияния зависит главным образом от конструктивной схемы ЭГФ. Учет данного явления предлагается учитывать путем корректировки алгоритма управления АТС.

В результате проведенных экспериментальных исследований серийно выпускаемых АТС с ЭГФ Bosch и Delphi, установлено, что для ЭГФ Delphi характерно меньшее в 1,3...1,5 раза запаздывание формирования переднего фронта впрыскивания относительно момента начала подачи управляющего импульса. Данный тип ЭГФ позволяет обеспечивать при необходимости меньшие интервалы между впрыскиваниями.

Для сравнительного количественного анализа ЭГФ различного конструктивного исполнения были разработаны критерии качества

ЭГФ – численные величины, оценивающие конструктивные параметры и качество протекания рабочих процессов в ЭГФ.

**Каминский Р.В., Жолудов В.А., Загинайко А.Н.**

**ЗАО «НПО «Турботехника»**

### **Создание турбокомпрессоров для дизельных двигателей экологического класса EURO-4, EURO-5**

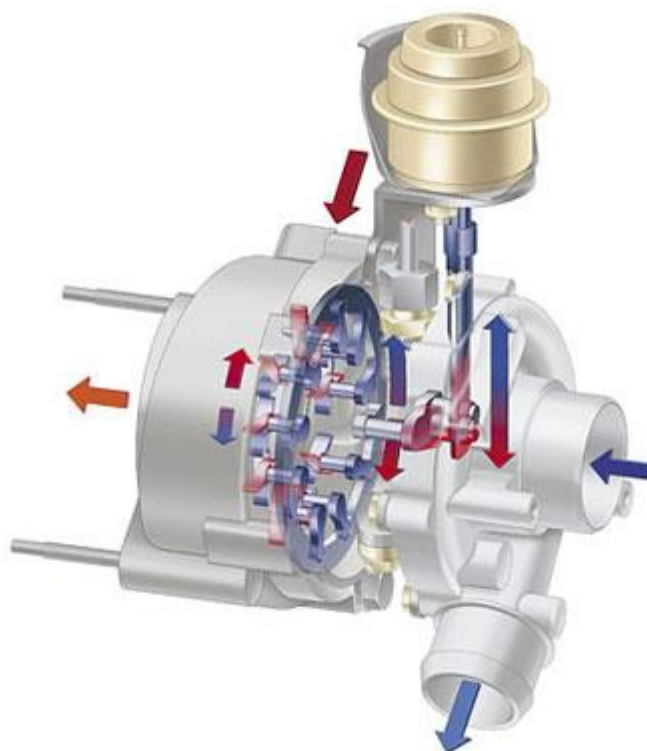
В настоящее время ужесточаются требования, предъявляемые к двигателям по обеспечению экологических характеристик в широком диапазоне режимов, что возможно только при обеспечении оптимальных параметров системы воздухообеспечения. Именно поэтому, а также для регулирования давления наддува в управлении работой двигателя были использованы микропроцессоры. Компьютерный контроль регулировки проходит в два этапа. На первом этапе на основании определенного числа параметров, таких как температура охлаждающей жидкости, масла, впускаемого воздуха и отработавших газов, анализируется состояние двигателя. Измеряются также частота вращения, положение педали акселератора и другие параметры. Все эти данные анализируются компьютером и используются для определения идеального в данных условиях давления наддува для двигателя. На втором этапе это значение идеального давления передается на исполнительные устройства, которые регулируют давление во впускной системе. Существует несколько способов регулирования давления турбокомпрессоров.

1. Регулирование турбокомпрессора с помощью перепуска отработавших газов

Самый распространенный способ регулирования. При низком давлении наддува перепускной клапан закрыт. При повышении давления клапан открывается и часть газов перепускается в обход ротора турбокомпрессора. Таким образом можно повысить давление наддува на малой частоте вращения.

## 2. Турбокомпрессор с изменяемым сечением турбины

Тип турбокомпрессора с переменной геометрией турбины основывается на принципе многолопаточности с регулирующим направляющим аппаратом, который встроен в корпус турбины. Лопатки открываются или закрываются в радиальном направлении к впуску в турбину и изменяют тем самым впускное сечение.



Турбокомпрессор с изменяемым сечением турбины

Переменное сечение корпуса турбины (рисунок) позволяет достичь высокого давления наддува на малых оборотах двигателя, высокого расхода отработавшего газа при минимальном противодавлении на высоких оборотах двигателя, получить более плавную характеристику двигателя на переходных режимах.

## 3. Регулирование с помощью рециркуляции отработавших газов (EGR)

В данном типе применяется турбокомпрессор без какого-либо встроенного механизма регулирования, но имеющий специальный корпус турбины, спроектированный под импульсный наддув. Регу-

лирование осуществляется с помощью клапана EGR управляемого общим блоком управления двигателем.

#### 4. Двухступенчатый наддув

Двухступенчатый наддув - это способ преодолеть ограничения по давлению наддува. Дополнительное сжатие может быть достигнуто с помощью последовательной установки двух турбокомпрессоров одним за другим. В больший турбокомпрессор (низкого давления) поступает чистый воздух, сжимается и подается в меньший турбокомпрессор (высокого давления). Там воздух еще раз сжимается, после чего подается в двигатель. Отработавшие газы двигателя сначала попадают в турбину турбокомпрессора высокого давления, потом в турбину турбокомпрессора низкого давления и затем в систему выпуска. Существует также система «турбокомпаунд», где первый турбокомпрессор работает в обычном режиме, а второй приводится в движение выхлопными газами полученными после первого. Это движение передается через турбинные шестерни и гидравлическую муфту, а затем через шестерни газораспределительного механизма - на коленчатый вал. Передача вращения на них создает полезную прибавку крутящего момента, что отражается и на изменении крутящего момента на маховике. Такая дополнительная тяга возникает без увеличения расхода топлива.

#### 5. Электротурбокомпрессор

Эта система обеспечивает более точное регулирование турбокомпрессора. На валу смонтирован электродвигатель, который может работать в режиме мотор-генератор. Это позволяет, во-первых, преобразовать часть энергии выхлопных газов в электрическую энергию, а, во-вторых, в режиме электродвигателя «подкручивать» ротор турбокомпрессора и тем самым получить мгновенно любое значение давления наддува, что необходимо в первую очередь на переходных режимах работы двигателя.

**Причины нарушения плотности посадки  
вкладышей подшипников коленчатого вала**

Плотность посадки вкладышей подшипников коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания – важная конструктивная характеристика подшипников. Она определяет отсутствие взаимных перемещений вкладыша и постели, искажение заданной геометрии рабочей поверхности, условия теплопередачи от вкладыша в постель.

Плотность посадки вкладыша определяется его следующими геометрическими параметрами (рис. 1):

- высотой линии разъёма,
- размером в свободном состоянии,
- прямолинейностью образующей наружной поверхности.

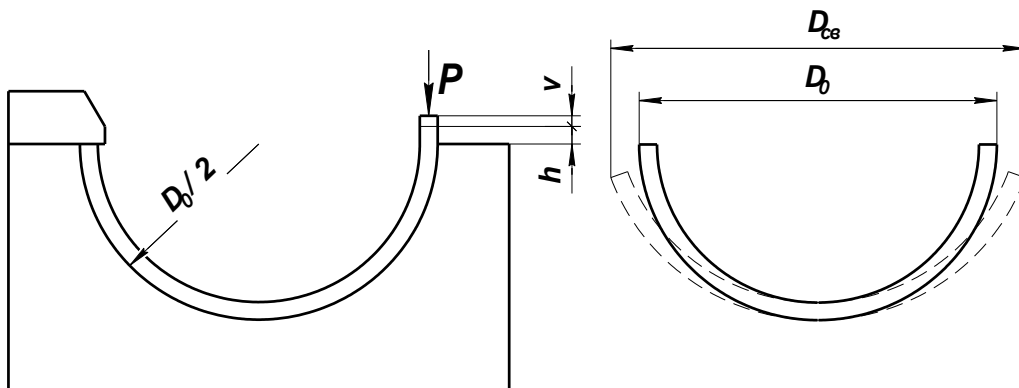


Рис. 1. Высота линии разъёма и размер в свободном состоянии вкладыша:

$D_0$  - диаметр постели контрольного блока,

$P$  - контрольная нагрузка на стык вкладыша,

$v$  - упругое укорочение вкладыша под действием контрольной нагрузки.

Стабильность этих параметров – одно из условий надёжной работы подшипника.



При работе вкладыш испытывает сложное напряжённое состояние. Напряжения определяются способом изготовления, условиями монтажа и работы.

Исследования позволили установить, что пластические деформации вкладышей главным образом определяются напряжённым состоянием антифрикционного слоя. Наличие пластических деформаций в антифрикционном слое приводит к уменьшению монтажного натяга, а также к прогибу вкладыша по образующей (рис. 2). Нарушение геометрии поверхности скольжения вкладыша при этом может явиться причиной отказа двигателя в эксплуатации.

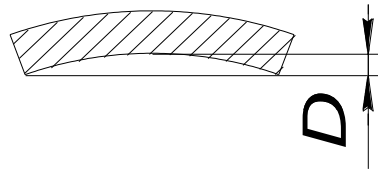


Рис. 2. Схема поперечной деформации вкладыша (корсетность)

Расчёт посадки вкладышей с учётом всех факторов, влияющих на напряжённое состояние антифрикционного слоя, позволяет достичь стабильной геометрической формы вкладышей в эксплуатации, повысить надёжность и ресурс работы подшипников.

**Неяченко И.И.**

НТЦ, ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти

**Проблемы управления подачей топлива**  
**при холодном пуске бензинового ДВС с впрыском топлива**  
**во впускной трубопровод**

Проблемы управления подачей топлива (ПТ) при холодном пуске главным образом определяются рассогласованием управляющих и режимных параметров и вызываются различными временными задержками по каналу управления ПТ. Задержки управления в свою

очередь зависят от качества смесеобразования, надежности и скорости съема и обработки информационных сигналов датчиков состояния двигателя, а также от выбранной стратегии управления ПТ по отношению к процессу впуска свежего заряда в цилиндр, т. е. впрыск топлива на открытый или закрытый впускной клапан. При больших подачах топлива и впрыске топлива на такте впуска большое количество жидкофазного топлива попадает непосредственно в цилиндр. При этом увеличивается вероятность смачивания жидкофазным топливом электродов свечей зажигания, что может привести к пропускам воспламенения. Наконец дополнительные затруднения в управлении ПТ при пуске двигателя вызываются невозможностью использования показаний датчика массового расхода воздуха в управлении ПТ ввиду недостоверности его показаний на этом режиме работы из-за повышенных пульсаций. Как следствие, возникают проблемы переходного режима к управлению по показаниям датчика массового расхода воздуха на стадии завершения фазы разгона двигателя.

В данном исследовании эксперименты проводились на 4-цилиндровом рядном двигателе с рабочим объемом  $V_h=1,6$  л, степень сжатия  $\varepsilon =10,5$ , шатровая камера сгорания с четырьмя клапанами (два впускных, два выпускных), система распределенного синхронного последовательного впрыска топлива во впускной канал. Примененная конструкция шатунно-поршневой группы обеспечивает значительное снижение потерь на трение, что приводит к повышению скорости коленчатого вала двигателя при его пуске. При этом в свою очередь увеличивается рассогласование и возрастают затруднения по каналу управления ПТ. Того же эффекта следует ожидать от применения маловязких сортов моторного масла.

После проведения цикла калибровочных работ с использованием традиционной технологии двигатель имел ряд замечаний на режиме холодного пуска, которые в основном были обусловлены вынужденным применением чрезмерно обогащенной смеси на стартерном режиме. Попытки обеднить пусковые характеристики известными

методами приводили к ухудшению пусковых качеств – увеличению времени пуска, нестабильности.

Для определения причин и устранения замечаний были применены методы имитационного динамического моделирования процесса транспортировки топлива в цилиндры двигателя с применением разработанных моделей прогноза и управления ПТ. Модельные эксперименты показали, что для поддержания заданного состава смеси в цилиндрах необходимо быстрое уменьшение подач сразу после получения первых «вспышек» в цилиндрах двигателя и плавное, но значительное обеднение смеси при разгоне с последующим обогащением. С целью обеспечения рекомендованного закона ПТ был проведен анализ используемого алгоритма управления и найден нетрадиционный способ управления ПТ в режиме завершения пуска. При этом была применена прямая коррекция ПТ по увеличению числа тактов после выхода из фазы разгона. Таким образом, реализация рекомендаций по оптимальному управлению была осуществлена в виде компромиссного приближения. В результате было достигнуто значительное сокращение эмиссии продуктов неполного сгорания CO и CH при пусках двигателя во всем эксплуатационном диапазоне температур. Однако при экстремально низких температурах кратковременные сбои в фазе разгона остались.

В результате дополнительного анализа реализации впрысков топлива на этом режиме в развертке по времени и угловому положению коленчатого вала двигателя были определены причины поведения испытываемого двигателя на этой фазе холодного пуска. Динамическое запаздывание в управлении ПТ, чрезмерная ПТ на разгоне и подача части топлива в фазе открытия впускного клапана резко изменяют процесс смесеобразования во время разгона двигателя, что и приводит к последующим сбоям в работе цилиндров. Снижение динамики разгона за счет управления с упреждением по углу опережения зажигания со смещением в область отрицательных значений и управление ПТ с упреждением вплоть до выключения ПТ в фазе разгона позволили существенно улучшить пусковые ка-

чества двигателя. Улучшение было достигнуто благодаря приближению к оптимальному динамическому управлению и сохранению стратегии смесеобразования (ПТ на закрытый впускной клапан).

Описанные особенности поведения двигателя при холодном пуске наиболее критично проявляются при компоновке камеры сгорания, имеющей пониженные эффекты турбулизации заряда в цилиндре, однако в той или иной степени характерны для всех ДВС с подобной схемой и стратегией подачи топлива.

**Семёнов В.Г.**, Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

**Атамась А.И.**, Кременчугский государственный политехнический университет имени М. Остроградского

**Рудаченко С.В.**, НПО «Виктор», г. Харьков

### **Исследование влияния состава топлива на экономические показатели вихрекамерного дизеля**

Проблема экономии топлив нефтяного происхождения частично может быть решена путём применения биодизельного топлива (БТ) из возобновляемых сырьевых ресурсов (жиров растительного и животного происхождения).

Для оценки экономичности дизельного двигателя при использовании БТ для полной или частичной замены дизельного топлива (ДТ) предпочтительнее использовать эффективный КПД, т. к.  $Q_i^{\dot{A}\dot{O}} = 42,5$  МДж/кг, а  $Q_i^{\dot{A}\dot{O}} = 37,2$  МДж/кг.

Целью данной работы является исследование изменения эффективного КПД вихрекамерного дизеля в зависимости от концентрации БТ в бинарной смеси ДТ + БТ, на которой он работает.

На основании экспериментальных исследований установлено следующее. По мере увеличения процентного (по объёму) содержания БТ в бинарной смеси с ДТ прямо пропорционально увеличива-

ется эффективный КПД вихрекамерных дизелей. Для удобства оценки изменения введём величину, равную

$$\delta\eta_{\dot{a}} = \frac{\eta_{\dot{a}}^{\dot{A}\dot{N}}}{\eta_{\dot{a}}^{\dot{A}\dot{O}}},$$

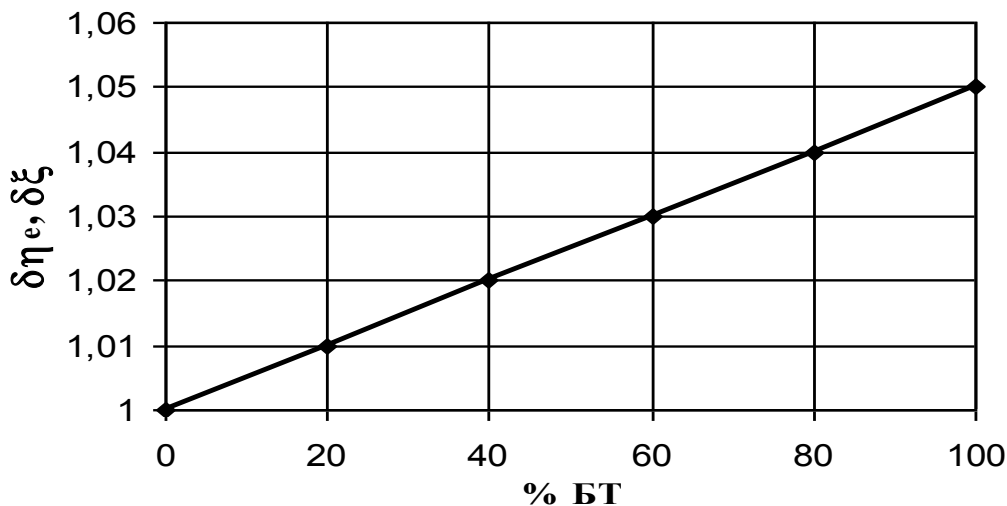
где  $\eta_{\dot{a}}^{\dot{A}\dot{N}}$  - эффективный КПД двигателя при работе на бинарной смеси ДТ и БТ;

$\eta_{\dot{a}}^{\dot{A}\dot{O}}$  - эффективный КПД двигателя при работе на ДТ.

По данным многих литературных источников, при использовании 100 % БТ величина  $\delta\eta_{\dot{a}}$  увеличивается на 4,5...5,5 % по сравнению с ДТ (рисунок). Приняв во внимание то, что механический КПД двигателя при  $n = const$ ,  $N_e = const$  и различных видах топлив величина неизменная, запишем

$$\eta_e = f(\eta_i) = \varphi(\xi),$$

где  $\xi$  - коэффициент эффективности использования теплоты на участке видимого сгорания.



Зависимость  $\delta\eta_{\dot{a}}$  и  $\delta\xi$  от концентрации БТ в смеси с ДТ

Таким образом, можем предположить, что относительная величина  $\delta\xi$  изменяется идентично величине  $\delta\eta_{\dot{a}}$  (рисунок).

Согласно графику на рисунке, при работе двигателя на смеси с содержанием БТ 30 % по объёму (В30) коэффициент эффективного тепловыделения повысится на 1,5% и составит 0,558.

В таблице приведены результаты расчётных и экспериментальных исследований показателей работы двигателя ЗЧ8,8/8,2 при его работе на ДТ и бинарной смеси В30.

Результаты сопоставления расчётных и экспериментальных показателей работы дизеля ЗЧ8,2/8,2

Состав топлива	$N_e$ , кВт	$\hat{A}_{\dot{v}}$ , кг/ч	$g_e$ , г/кВт·ч	$\alpha$	$T_Z$ , К	$\xi$	$\eta_i$ , %	$\eta_i$ , %	$\eta_e$ , %
100% ДТ расчёт / эксперимент	15,4 /	4,66 /	302,0 /	1,47 /	1877	0,55 /	38,3 /	70,3 /	28,05 /
	15,4	4,65	301,1	1,49	/-	-	40,2	70	28,13
В30 расчёт / эксперимент	14,7 /	4,60 /	312,4 /	1,55 /	1860	0,558	38,8 /	70,3 /	28,52 /
	14,7	4,59	312,1	1,56	/-	/-	40,8	70	28,55

Повышение эффективного КПД по экспериментальным данным, приведенным в таблице, составляет 1,5%, так же как и повышение коэффициента  $\xi$ . Расхождения между расчётными и экспериментальными данными не превышают 0,3%.

Таким образом, в ходе проведённых исследований установлено, что при работе вихрекамерного дизеля ЗЧ8,8/8,2 на бинарных смесях БТ с ДТ его эффективный КПД повышается с повышением концентрации БТ в смеси. Повышение эффективного КПД происходит идентично повышению коэффициента эффективного тепловыделения. Рост коэффициента эффективного тепловыделения можно объяснить более полным сгоранием БТ за счёт наличия в его молекулах кислорода.

**Мальчук В.И., Шатров М.Г., Дунин А.Ю.,  
Дубинин А.И., Рыбкин А.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Об организации топливоподачи в многотопливных дизелях  
нового поколения**

В докладе излагаются некоторые результаты работ МАДИ (ГТУ), направленных на совместное решение экологических и топливно-энергетических проблем дизелей нового поколения путем применения в них смеси традиционного и альтернативных топлив. В качестве альтернативы дизельному топливу в работе рассматриваются: этанол, рапсовое масло, метиловый эфир рапсового масла. Дается анализ физико-химических свойств представленных альтернативных топлив, на основании которого с учетом современного представления о рабочем процессе дизеля формируются требования к организации подачи смеси в камеру сгорания. При этом основное и принципиальное требование к процессу впрыскивания предусматривает возможность топливной системы изменять: массовый состав смеси в процессе рабочего цикла, массовый состав цикловой подачи смеси с учетом многорежимности, полное отключение подачи одного из компонентов смеси.

Реализация отмеченных особенностей топливоподачи предлагается с помощью разработанной в МАДИ (ГТУ) системы подачи смеси топлив (СПСТ), которая включает в себя: опытную форсунку, традиционный топливный насос высокого давления для подачи к ней компонентов смеси, аппаратуру аккумуляторного типа для подвода к этой же форсунке дизельного топлива. Характерная особенность форсунки и ее распылителя – наличие двух каналов для подвода компонентов смеси к полости их смешения, расположенной у основания запирающей кромки иглы распылителя.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований влияния смесей различных компонентных составов на

характеристики дизеля. Опыты проводились на полноразмерном дизеле Д-120 с регистрацией его мощностных, экономических показателей и токсичности отработавших газов. Исследования показали значимое влияние альтернативных топлив на токсичность отработавших газов. В проведенной серии работ наилучшие результаты с позиции уменьшения, в частности, твердых частиц в продуктах сгорания были получены с применением смеси дизельного топлива и этанола.

**Шайкин А.П., Коломиец П.В., Шайкина Н.А.**  
Тольяттинский государственный университет

**Концентрация оксида азота в отработавших газах  
бензинового двигателя при добавке водорода в ТВС**

Представлены результаты экспериментальных работ по влиянию скорости распространения пламени на выделение оксидов азота (NO) при добавке водорода в бензиновые двигатели. Выполнение норм Евро-4 и выше по токсичности отработавших газов (ОГ) и снижение расхода топлива могут быть решены при обеспечении максимальной полноты сгорания топливно-воздушной смеси (ТВС) вблизи верхней мертвой точки и высокой скорости сгорания в широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ) и скоростных режимов работы.

Добавка водорода приводит к значительному росту скорости сгорания, особенно в области бедных составов смеси, и возрастанию концентрации NO для одинаковых коэффициентов избытка воздуха ( $\alpha$ ). Между тем, если сравнивать данные по концентрации при одинаковых скоростях распространения пламени, то в области бедных составов ТВС ( $\alpha > 1$ ) при одинаковых средних скоростях распространения пламени малые добавки водорода (до 5...6 % по массе бензина) приводят к снижению выделений NO в ОГ до 60%.



Обработка экспериментальных данных позволила получить безразмерный критерий  $Sch = \frac{W_{осн}}{\alpha \cdot W_{II}^{cp}} \cdot \frac{180 + \Theta_3}{180} \cdot \frac{V_a - V_{3c}}{V_h}$ , отражающий влияние на выделение  $NO_x$  в ОГ средней скорости распространения фронта пламени,  $W_{осн}$ , угла опережения зажигания,  $\Theta_3$ , скоростного режима,  $W_{II}^{cp}$ , состава ТВС, доли добавляемого водорода через  $W_{осн}$ , степени расширения после окончания сгорания,  $V_a - V_{3c}/V_h$ .

Получена эмпирическая зависимость  $C_{NO_x} = 5530 \ln(Sch) - 4400$ , позволяющая прогнозировать выделение  $NO_x$  в ОГ с учетом конструктивных, режимных и регулировочных параметров проектируемого двигателя, а также с учетом влияния добавок водорода в ТВС на процесс сгорания.

**Гришин Ю.А., Зенкин В.А., Рогов В.С.**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

### **Моделирование продувки двухтактных двигателей**

Газообмен является важнейшей составной частью рабочего процесса поршневых двигателей. Скорости потоков, покидающих цилиндры при выпуске, поля скоростей и давление в цилиндре, полученные в результате впуска, являются определяющими факторами для оценки коэффициентов очистки, наполнения, продувки, вихревого числа, величины обратного заброса на впуск и, как следствие, организации рабочего процесса в цилиндрах. Поэтому корректное выполнение расчетов газообмена необходимо для достоверного определения мощности, удельного расхода топлива, дымности и токсичности отработавших газов и других важнейших эксплуатационных и экологических показателей двигателя. Особенно сложный пространственный нестационарный характер имеют процессы газообмена в двухтактных двигателях.

Одним из наиболее удобных и эффективных численных методов для расчетного анализа пространственных нестационарных потоков является метод крупных частиц (МКЧ) и его неявная модификация, повышающая скорость и точность вычислений. Для реализации возможности решения задач, характерных для поршневых двигателей, в МГТУ им. Баумана разработан алгоритм учета подвижных границ. С помощью данной модификации МКЧ были выполнены расчеты газообмена нескольких двухтактных ДВС.

На рис.1 показан разрез малооборотного двухтактного судового дизеля 6ДКРН 76/155 с петлевой продувкой фирмы Зульцер с комбинированным наддувом. В двигателе две группы по три цилиндра объединены общим коллектором, в котором после цилиндров установлены вращающиеся заслонки, перекрывающие выбросы свежего заряда в конце продувки. Закон их движения обеспечивает необходимую функцию изменения площади проходного сечения.

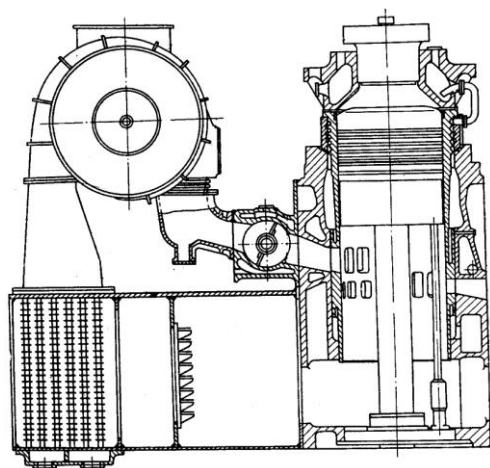


Рис.1. Разрез двигателя 6ДКРН 76/155

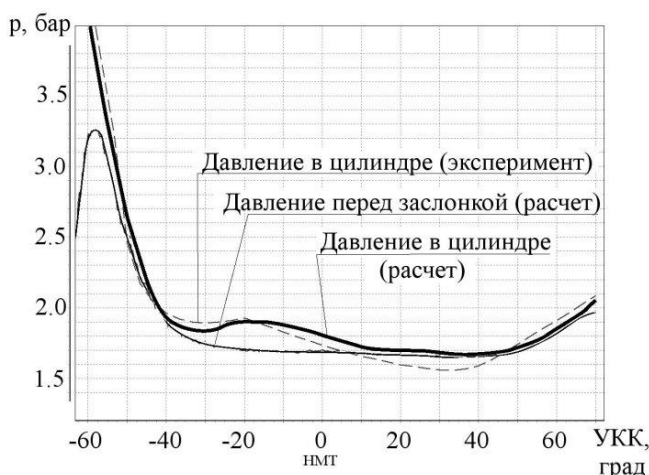


Рис.2. Кривые изменения давления в цилиндре и перед заслонкой двигателя 6ДКРН 76/155

Экспериментальные исследования с записью давления в цилиндре этого двигателя при газообмене были выполнены С.В. Камкиным. Результаты расчета и эксперимента приведены на рис.2, видно их хорошее согласование.

На рис.3 показан разрез отечественного двигателя ДН20,7/2х25,4 с противоположно движущимися поршнями и прямо-

точной продувкой. На кафедре «Поршневые двигатели» МГТУ были проведены экспериментальные исследования одноцилиндрового отсека ОД100 этого двигателя с записью давления в процессе газообмена.

Экспериментальные и расчетные кривые изменения давления в цилиндре и выпускном ресивере при газообмене, которые также показывают хорошее согласование, приведены на рис.4.

Полученные результаты показывают, что разработанное дополнение к численному методу крупных частиц в виде специального предварительного этапа позволяет выполнять пространственные расчеты в областях с подвижными границами. Представленная версия МКЧ даст возможность проводить численные исследования с целью оптимизации геометрии поясов впускных и выпускных окон двухтактных двигателей, каналов в головках и клапанов четырехтактных двигателей с целью получения потребных характеристик их рабочего процесса. Очевидной является и возможность применения данной разработки для численного моделирования в проточных частях и объемах с подвижными границами в различных образцах техники.

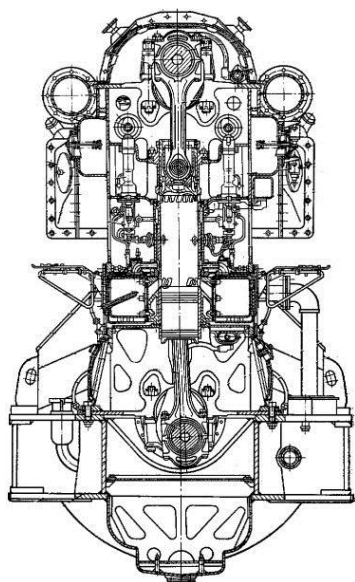


Рис.3. Разрез двигателя ДН20,7/2х25,4

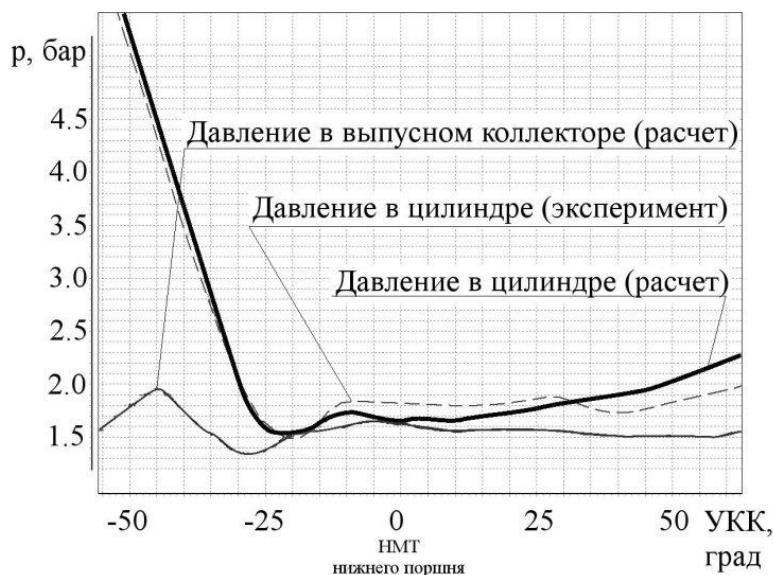


Рис.4. Кривые изменения давления в цилиндре и выпускном ресивере отсека ОД100

**Оценка процессов,  
протекающих в аккумуляторной топливной аппаратуре**

Предлагается методика оценки технического состояния и параметров топливной аппаратуры по характеристике колебаний давления в топливном аккумуляторе. Данная методика может быть применена как на этапе испытаний и доводки перспективных топливных систем дизелей, так и при выявлении неисправностей в период эксплуатации транспортного средства. Предполагается производить прямое измерение сигнала штатного датчика давления топлива с помощью высокочастотного пишущего осциллографа с целью получения максимально достоверной формы колебаний давления топлива. Работа компонентов топливной аппаратуры аккумуляторного типа в каждом цикле двигателя вызывает возмущения в объеме топлива, заполняющего аккумулятор. Характер этих возмущений будет различным для разных элементов аппаратуры. В качестве диагностического параметра для оценки работы ТНВД используется угол наклона усреднённой прямой характеризующей нарастание давления топлива в аккумуляторе при запуске дизеля и при резком увеличении частоты вращения оборотов от ХХ до номинальных.

Дополнительным диагностическим параметром является амплитуда импульса давления топлива при срабатывании каждой секции ТНВД. При срабатывании каждой электрогидравлической форсунки через нее возникает расход топлива, определяемый как сумма цикловой подачи и технической дозы топлива, прошедшей через управляющую камеру. В момент срабатывания форсунки в топливном аккумуляторе возникает снижение давления. Сравнивая его величину для каждой форсунки, можно оценить действительные продолжительность и угол опережения впрыскивания, и относительную

равномерность цикловых подач по форсункам. При изменении технического состояния регулятора давления топлива возможен выход его за пределы диапазона устойчивой работы, что приведет к возникновению произвольных колебаний давления топлива, которые могут быть зафиксированы осциллографом. Наличие обратного контроля со стороны электронного блока управления позволяет производить диагностирование путём измерения управляющего сигнала на регулятор давления топлива. Так как даже незначительные изменения давления топлива приводят к значительному изменению управляющего сигнала, то это позволит более точно обнаруживать неисправности на ранних стадиях их появления.

**Смоленский В.В., Шайкин А.П., Смоленская Н.М.**  
Тольяттинский государственный университет

### **Особенности работы двигателя с искровым зажиганием при добавке водорода в ТВС**

Эффективные режимы работы двигателя обеспечиваются на обедненных топливно-воздушных смесях (ТВС), при работе на которых увеличивается задержка воспламенения, продолжительность сгорания и уменьшается скорость распространения пламени, что снижает эффективность работы на бедных смесях и вызывает сложности с организацией устойчивого процесса сгорания. В настоящее время в мире активно исследуются способы осуществления рабочего процесса на бедных смесях за счет активирующих добавок в ТВС.

Показано, что добавка водорода вносит свои особенности в процесс сгорания: значительно расширяет пределы устойчивого горения, интенсифицирует процесс сгорания, уменьшает задержку воспламенения (первую фазу), увеличивает скорость распространения пламени, снижает токсичность ОГ по несгоревшим углеводородам (СН) за счет уменьшения толщины пристеночного слоя и увели-

чения полноты сгорания, изменяет токсичность по оксиду азота. Особенно сильно проявляется добавка водорода на переходных режимах, при обеднении смеси, а также на режимах пуска и прогрева. Следует отметить, что увеличение количества добавляемого водорода более (6...8%) по массе топлива снижает его эффективность как активизирующей добавки. Происходит как бы замещение одного топлива другим. Эксперименты, как правило, проводились при изменении параметров ТВС на входе и определение характеристик работы двигателя на выходе, крутящий момент, токсичность и т.п. Каким образом изменялись параметры процесса сгорания – скорость распространения пламени, длительность сгорания и его отдельных фаз - практически не рассматривалось. Не определены закономерности, связывающие токсичность ОГ и экономичность работы двигателя со скоростями распространения пламени.

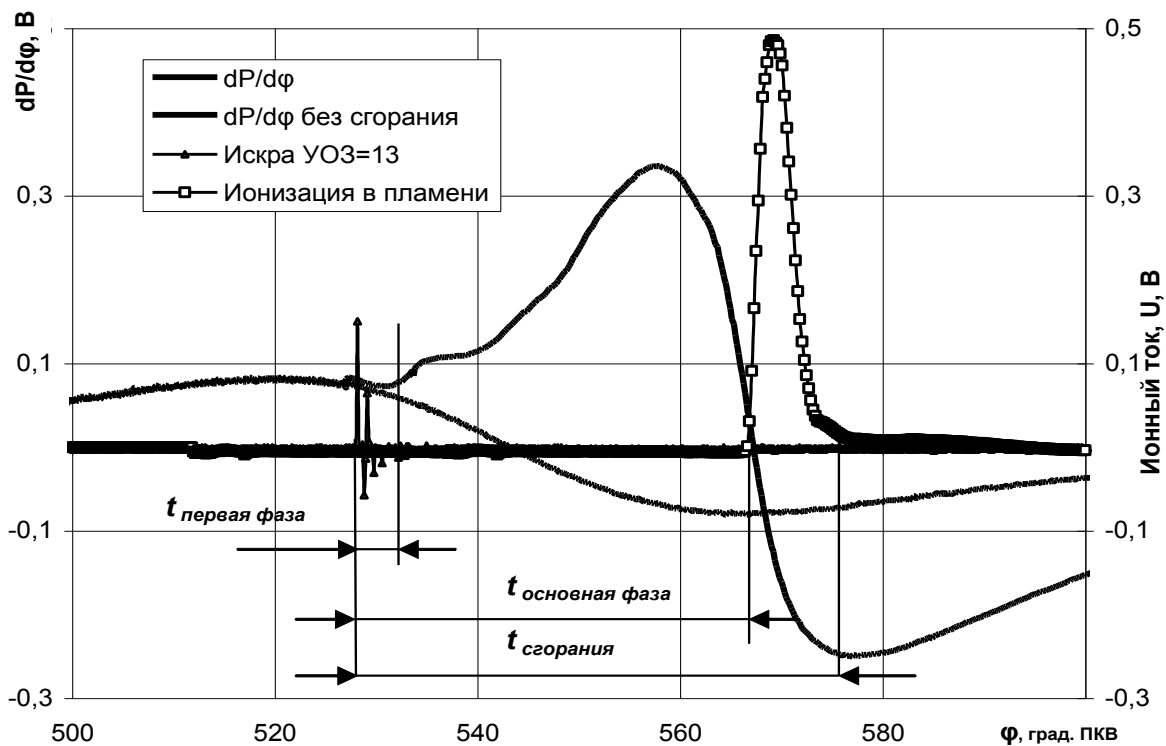
На кафедре “Тепловые двигатели” ТГУ проведены исследования влияния добавок водорода на процесс сгорания, на основе выявления особенностей протекания самого процесса сгорания по ионизационным и магнитострикционному датчикам. По экспериментальным данным определено влияние режимных параметров и свойств смеси на скорость распространения пламени в первой, второй, основной и третьей фазах сгорания. Очевидно, что скорость распространения пламени не может быть меньше скорости при прямолинейном движении фронта пламени от свечи к датчику. Поэтому для определения характерной «средней» скорости фронта пламени в этой фазе сгорания достаточно поделить характерный размер КС, соответствующий пути распространения фронта пламени на время.

Средняя скорость пламени  $U_3$  в третьей фазе сгорания при выгорании смеси в полости датчика ионизации показывает скорость распространения пламени в пристеночном слое.

Показано что на среднюю скорость распространения пламени в основной фазе сгорания примерно одинаковое влияние оказывает турбулентность смеси (обороты) и свойства ТВС, рисунок.

Результаты экспериментального исследования показали, что малые добавки водорода в бензовоздушную смесь приводят к следующим особенностям протекания процесса сгорания:

- происходит сокращение продолжительности всех фаз сгорания;
- во 2-ой фазе сгорания влияние 5%-ной добавки водорода на среднюю скорость распространения пламени сравнимо с увеличением скоростного режима на 50% (эквивалентное возрастанию турбулентности на 1,66 раза);
- в третьей фазе сгорания влияние малых добавок водорода более значительное, чем увеличение скоростного режима.



Определение фаз сгорания по магнитоиндукционному и ионизационному датчикам

**Белов А. В., Злотин Г. Н., Захаров Е. А.**  
Волгоградский государственный технический университет

**Исследование характеристик газового редуктора при работе**  
**на переходных режимах с использованием**  
**математической модели**

В настоящий момент особую актуальность приобрели работы по использованию альтернативных топлив для энергетических установок легковых и грузовых автомобилей. В качестве таковых в России широко применяется сжиженный нефтяной газ. В настоящий момент существует множество систем питания двигателей сжиженным нефтяным газом. Проблема применения данных систем заключается в том, что они являются универсальными и не всегда адаптированы под ту или иную модель двигателя.

Дороговизна и сложность экспериментальных исследований переходных процессов потребовали разработки математической модели системы питания сжиженным нефтяным газом. Разработанная модель и методика её использования дают возможность получить информацию о динамических свойствах системы и решить задачу оптимизации её параметров. При решении задачи оптимизации работы системы, а также при проектировании новых систем легко с помощью модели моделируются любые сочетания параметров.

Исследование переходных режимов работы ДВС потребовало, в частности, определения инерционности отклика системы питания на изменение положения дроссельной заслонки, при различных исходных режимах работы.

В основу модели заложены уравнения, описывающие течение газообразного топлива и воздуха в различных проточных элементах системы топливоподачи на основе уравнения неразрывности, а также массово-инерционные характеристики подвижных деталей редуктора. Особое место в модели занимает рассмотрение явлений



отрыва и посадки клапанов редуктора на седло, что ранее не применялось при моделировании.

При моделировании переходного процесса задающей величиной является изменение положения дроссельной заслонки. Ее перемещение вызывает изменение давления на входе в систему питания, в дальнейшем моделируется последовательное прохождение данного воздействия по элементам системы питания и их реакция с учетом инерционности процесса. Одновременно разработанная модель обеспечивает повременную запись изменения всех параметров системы и вывод их в виде графических зависимостей. Модель позволяет получать частотные характеристики работы узлов редуктора, что немаловажно, учитывая все более растущую динамичность современных двигателей внутреннего сгорания и требовательность потребителей к приемистости транспортного средства. При исследовании выводятся на печать графики: изменения объема и давления внутри полостей редуктора, скоростей и ускорений подвижных частей редуктора, расходных характеристик проточных элементов. Это позволяет детально анализировать частотные характеристики редуктора при смене режима работы с поиском причин негативных явлений, возникающих при этом.

Анализ фиксируемых зависимостей при моделировании различных сочетаний параметров системы показал широкие возможности использования модели для оптимизации работы редуктора на различных режимах, а также для проектирования вновь создаваемых редукторов с заданным набором свойств.

В данный момент модель применяется для исследования работы двигателя ВАЗ-1111 на переходных режимах при питании сжиженным нефтяным газом. На базе данного исследования проводится проверка адекватности полученных на модели данных реальным показателям, снятым при натурном исследовании двигателя с установленной системой питания сжиженным нефтяным газом.

**Хачиян А.С., Алексеев А.Б.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Некоторые результаты исследований  
современного дизеля большегрузного автомобиля**

Необходимость удовлетворения ужесточающимся требованиям по выбросам вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) всё в большей степени определяет основные направления развития современных дизелей автотракторного типа. На сегодняшний день необходимость применения внецилиндровых способов обработки выпускных газов для снижения их токсичности не вызывает сомнений. Однако оптимизация внутрицилиндровых процессов также продолжает оставаться важной задачей. В особенности это касается конструкций дизелей, выпускаемых отечественной промышленностью, которые характеризуются малым относительным диаметром камеры сгорания, высокой интенсивностью вихревого движения заряда и, как правило, двухклапанным газораспределением. Данные особенности конструкции и организации рабочего процесса нельзя признать оптимальными в случае применяемых в настоящее время степеней форсирования наддувом, когда степень повышения давления наддува достигает 3 и более.

В Проблемной лаборатории транспортных двигателей МАДИ проведены исследования рабочего процесса дизеля с широкой неглубокой камерой сгорания  $d_{к.с.}/D = 0,85$  типа Гессельман, имеющего на номинальном режиме  $\pi_k = 2,1$ . Исследования проводились на одноцилиндровой установке с диаметром цилиндра  $D=120$  мм и ходом поршня  $S=130$  мм. Головка цилиндра – четырёхклапанная, с центральной осесимметрично расположенной форсункой. Использована система топливоподачи в виде индивидуального ТНВД с диаметром и ходом плунжера 12 мм.

В ходе работы подобран оптимальный нагнетательный клапан, позволяющий избежать подпрысков топлива при работе с рас-

пылителем, имеющим малое эффективное проходное сечение  $\mu f_p = 0,17 \dots 0,18$ . При проведении опытов на двигателе исследовано влияние числа сопловых отверстий распылителя ( $i_c = 6$  и  $8$ ). В частности, показано, что при нерегулируемом газотурбинном наддуве топливная система непосредственного действия в принципе не может обеспечить оптимального распределения топлива на каждом скоростном и нагрузочном режиме дизеля. Распылитель с  $i_c = 6$ , имеющий диаметр сопловых отверстий  $d_c = 0,24$  мм, позволяет на номинальном режиме  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup> получить показатели дизеля, близкие к максимально достижимым, однако на режиме максимального крутящего момента преимущества имеет распылитель с  $i_c = 8$  и  $d_c = 0,19$  мм.

Характеристики по углу опережения впрыскивания топлива позволяют наметить значения углов и их изменение в поле режимов работы, при которых можно получить приемлемые экологические показатели. Предельный экологический класс, который может обеспечить полноразмерный дизель с номинальной мощностью 235 кВт (320 л.с.), при непосредственном впрыске топлива, является класс «ЕВРО-3». Для этого можно использовать запаздывание начала впрыскивания. Достигаемые при этом выбросы оксидов азота сопровождаются ухудшением топливной экономичности и увеличением выбросов сажи. Показано, что ухудшение экономичности происходит в основном в результате затягиванию тепловыделения по углу поворота коленчатого вала. Позитивные последствия заключаются в существенном снижении максимального давления цикла и максимальной скорости повышения давления при сгорании, которые при позднем начале тепловыделения могут оказаться даже ниже, чем в процессе сжатия.

Радикальным средством для получения наилучших показателей предлагаемого дизеля является применение аккумуляторных топливных систем (АТС), обладающих энергией впрыскивания, не зависящей от режима работы дизеля. Одной из таких систем является АТС с электрогидравлическими гидроприводными насос-

форсунками (ЭГНФ), разработкой которой ПЛТД МАДИ начала заниматься одной из первых в нашей стране.

**Жуков В. А. Тарасов М. А.**

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная  
технологическая академия имени П.А. Соловьева»

### **Экологические перспективы высокотемпературных систем охлаждения ДВС**

Совершенствование транспортных двигателей в последние годы направлено главным образом на повышение топливной экономичности и удовлетворение экологических нормативов, которые непрерывно ужесточаются. Топливная экономичность может быть повышена за счет увеличения термической эффективности цикла, что требует увеличения максимальных температур цикла. Повышение температурного уровня цикла, снижение тепловых потерь и улучшение эффективных показателей двигателей достигаются за счет перехода на высокотемпературное охлаждение. Разработкой высокотемпературных систем охлаждения с температурой охлаждающей жидкости более 120°С и давлением в системе 0,3...0,5 МПа в настоящее время занимаются многие ведущие двигателестроительные фирмы. Для оценки их перспектив применительно к автомобильным двигателям необходимо проанализировать влияние повышения температуры охлаждения на экологические показатели двигателя. Основными показателями экологичности двигателя являются токсичность и дымность отработавших газов и шумность работы.

Проведенное численное моделирование показало, что повышение температуры охлаждающей жидкости оказывает существенное влияние на протекание рабочего цикла и его основные параметры. Изменение характера рабочего процесса вызывается тремя основными факторами:

- повышением температуры стенок камеры сгорания и, как следствие, усредненной температуры цикла;
- снижением коэффициента наполнения, которое составляет при повышении температуры охлаждающей жидкости с 90 до 120°C (2...3 %);
- уменьшением коэффициента избытка воздуха, составляющим, при том же повышении температуры охлаждающей жидкости, 3...4 %.

Повышение температуры рабочего тела при осуществлении цикла имеет как положительные, так и отрицательные последствия.

К положительным следует отнести сокращение периода задержки воспламенения топлива. Расчеты, выполненные по формулам, предложенным В.С. Семеновым и Г. Вольфером, показали, что при работе двигателя по скоростной характеристике уменьшение времени задержки воспламенения составляет 5...7 % на частотах вращения коленчатого вала близких к номинальной и 15...25 % - на малых оборотах. Сокращение периода задержки воспламенения играет решающее значение для снижения выбросов оксидов азота, так как при этом уменьшается скорость повышения давления, скорость тепловыделения в начале сгорания и, следовательно, максимальная температура цикла. Снижение скорости нарастания давления приводит также к уменьшению жесткости работы двигателя и снижению уровня шума.

Негативное влияние на токсичность и дымность отработавших газов, связанное с обогащением топливовоздушной смеси вследствие снижения коэффициентов наполнения и избытка воздуха несколько ослабит положительное влияние высокотемпературного охлаждения.

Негативное влияние может быть ослаблено или абсолютно исключено, если переход на высокотемпературное охлаждение транспортных двигателей осуществлять одновременно с модернизацией других систем: системы топливоподачи (электронное управление

впрыском, повышение дисперсности распыливания), системы газотурбинного наддува (регулирование наддува, обеспечение глубокого охлаждения наддувочного воздуха), выпуска (рециркуляция отработавших газов).

Таким образом, высокотемпературное охлаждение автомобильных и тракторных дизелей следует признать перспективным при комплексной модернизации существующих двигателей и разработке перспективных моделей как с точки зрения повышения топливной экономичности, так и с точки зрения экологических показателей.

**Грачев А.Ю., Рыжкин С.В.**

Департамент транспорта и связи города Москвы,

**Востриков А.В., Гавриков А.Г., Езжев А.А.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Разработка и исследование топливных систем дизелей, использующих в качестве топлива диметиловый эфир**

Автомобильный транспорт является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды. В масштабах Российской Федерации доля автотранспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу техногенными источниками достигает в среднем 43%, в выбросах «климатических» газов – 10%, в массе промышленных отходов – 2%, в сбросах вредных веществ со сточными водами – 3%, в потреблении озоноразрушающих веществ – 5%.

Эта проблема является острой для больших городов, в которых перенасыщенность автомобильным транспортом является неотъемлемой частью их существования.

Одним из перспективных направлений развития двигателей внутреннего сгорания и, в частности, автотракторных дизелей является использование новых топлив, позволяющих существенно улучшить экологические показатели ДВС. Несмотря на то, что попытки использования диметилового эфира (ДМЭ) в качестве топли-

ва были начаты сравнительно недавно, ДМЭ считается одним из перспективных топлив для автотракторных дизелей.

Применение ДМЭ (в жидком виде) в дизелях позволяет полностью исключить выбросы сажи, снизить уровень шума и существенно уменьшить выбросы оксидов азота. Отсутствие в отработавших газах сажи и соединений серы позволяет эффективно использовать окислительные нейтрализаторы и рециркуляцию отработавших газов (ОГ) и в итоге обеспечить выполнение самых жестких норм по токсичности.

С этой целью разработан комплекс математических моделей двухтопливной системы питания при работе ее на ДМЭ, состоящий из следующих методов расчета, реализованных в виде программ: расчета ТПН, расчета ЛНД ТНВД, расчета ЛНД системы питания в целом, расчета ЛВД. Комплекс математических моделей позволяет с достаточной точностью моделировать процессы в ЛНД ТС, работающей на ДМЭ, оптимизировать конструкции агрегатов ЛНД. Не менее важной задачей математического моделирования ТС является углубление представлений о взаимосвязях и особенностях рабочих процессов, происходящих в ЛНД ТС при работе дизеля на ДМЭ.

Работы проведены на безмоторном стенде для испытания узлов и агрегатов двухтопливной системы питания (НИИД) как с целью подготовки ТС к эксплуатационным испытаниям, так и в процессе эксплуатационных испытаний автомобилей.

В результате проведенных конструкторских разработок и исследований на безмоторном стенде создана двухтопливная ТС, использованная для оснащения опытно-промышленной партии автомобилей.

В ходе опытно-конструкторских работ и безмоторных испытаний двухтопливной системы питания были модернизированы и подготовлены к дорожным испытаниям такие ключевые узлы ТС, как электромагнитные клапаны, топливopодкачивающие насосы и двухтопливная система питания в целом. Разработанная система автоматического управления, алгоритм и корректор перевода системы

питания с одного вида топлива на другой позволяют осуществлять надежную работу дизеля в процессе перехода с ДТ на ДМЭ и обратно.

Установлено, что важное значение для функционирования двухтопливной системы питания имеет надежность разделения диметилевой и дизельной полостей путем использования ЭМК. Результаты безмоторных испытаний и эксплуатации автомобилей показали недостаточную надежность ЭМК ЭГ-1, устанавливаемых на первой партии автомобилей. Вместо ЭМК ЭГ-1 был рекомендован и внедрен клапан фирмы «Danfos».

В процессе сопровождения эксплуатационных испытаний выявлены, проанализированы и устранены причины отказов систем питания автомобиля, использующего в качестве основного топлива ДМЭ. В частности, устранены причины: недостаточной герметичности разделения полостей ДМЭ и ДТ с помощью ЭМК; падения давления при работе на ДМЭ; потери работоспособности ТПН и фильтра; отказов системы электропитания автомобиля.

Кроме описанных выше мероприятий по отработке надежности узлов и агрегатов двухтопливной системы подачи топлива, в процессе сопровождения эксплуатационных испытаний автомобилей – рефрижераторов ЗИЛ 5301 «Бычок» были выполнены доводочные работы по системе электропитания. С целью стабилизации напряжения бортовой сети и исключения перегрузок ТПН фирмы Bosch была модернизирована система электропитания автомобиля.

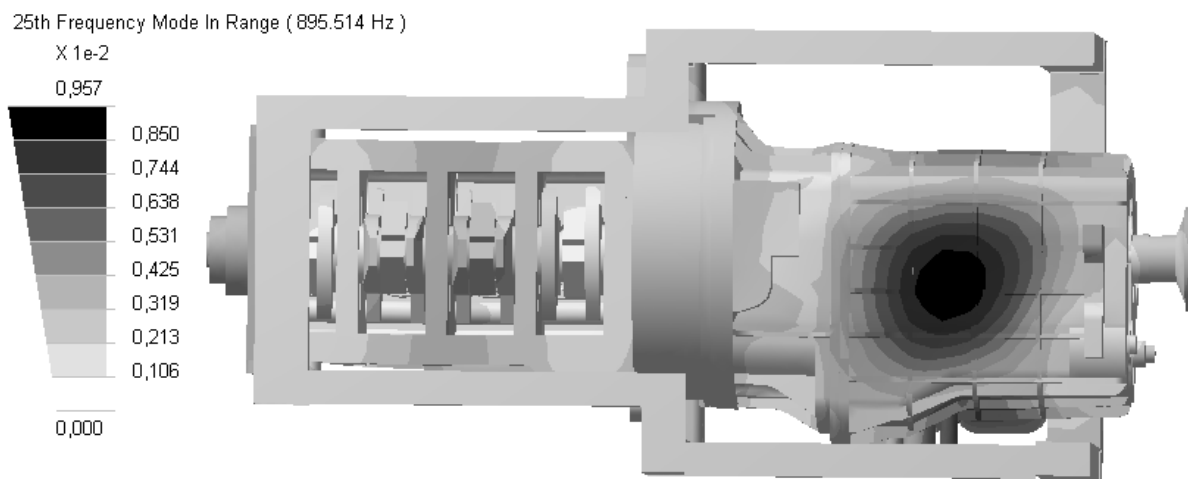
Комплекс методов и пакет программ внедрены во ФГУП "НАМИ" и используются в учебном процессе кафедры "Теплотехника и автотракторные двигатели" МАДИ (ГТУ). Технические решения, обеспечивающие эффективную и надежную работу опытно-промышленной партии автомобилей-рефрижераторов "ЗИЛ-5301", внедрены во ФГУП "НИИД" и в ГУП "Мосавтохолод".



### О модальном анализе силового агрегата автомобиля

Акустические характеристики силового агрегата автомобиля косвенно могут быть определены в процессе его модального анализа методом конечных элементов. Результат модального анализа существенно зависит от геометрического соответствия модели и реального тела (что обеспечивается твердотельным моделированием последнего), а также корректности накладываемых граничных условий.

Показано, что усложнение состава и увеличение степени дискретности конечно-элементной модели энергетической установки автомобиля могут приводить к неоправданному увеличению времени расчета без существенного повышения достоверности и информативности его результата.



#### 25-я форма собственных колебаний силового агрегата

Сопоставлены результаты модального анализа конечно-элементных моделей силового агрегата, включающих:

- 1) двигатель в сборе с коробкой передач (КП);
- 2) корпусные детали КП;
- 3) корпусные детали КП и картер маховика;
- 4) КП в сборе (без системы управления);

- 5) КП, установленную на стенде;
- 6) силовой агрегат, установленный на раму.

Модальный анализ выявил общую для всех моделей форму собственных колебаний (рисунок).

Видно (таблица), что результаты расчета частоты  $f$  общей формы собственных колебаний с использованием четырех моделей отличаются не более, чем на 6 %. Таким образом, можно предположить, что для нахождения частот и форм собственных колебаний КП можно ограничиться моделью №5, что (по сравнению с наиболее сложной моделью №6) в 2...3 раза позволит сократить время подготовки модели и расчета.

Модель	1	2	3	4	5	6
$f$ , Гц	921	785	633	875	902	895

**Шайкина Н.А.**

Тольяттинский государственный университет

### **Бензиновый двигатель в составе гибридной силовой установки**

В предстоящие 30...50 лет токсичность ДВС останется самой актуальной эколого-экономической проблемой силовых установок транспорта.

Предполагается рациональное использование энергии традиционных жидких топлив, при котором может быть достигнута минимизация затрат энергии и токсичности отработавших газов (ОГ) на движение автотранспортного средства, особенно в городских условиях.

Известно, что на магистралях современного большого города автомобиль с установившейся скоростью проезжает лишь 12...30 % пути, тогда как на режимах разгона и замедления 36...66 %. Причем

у муниципального транспорта это соотношение еще хуже: у него почти весь путь состоит из разгонов и торможений.

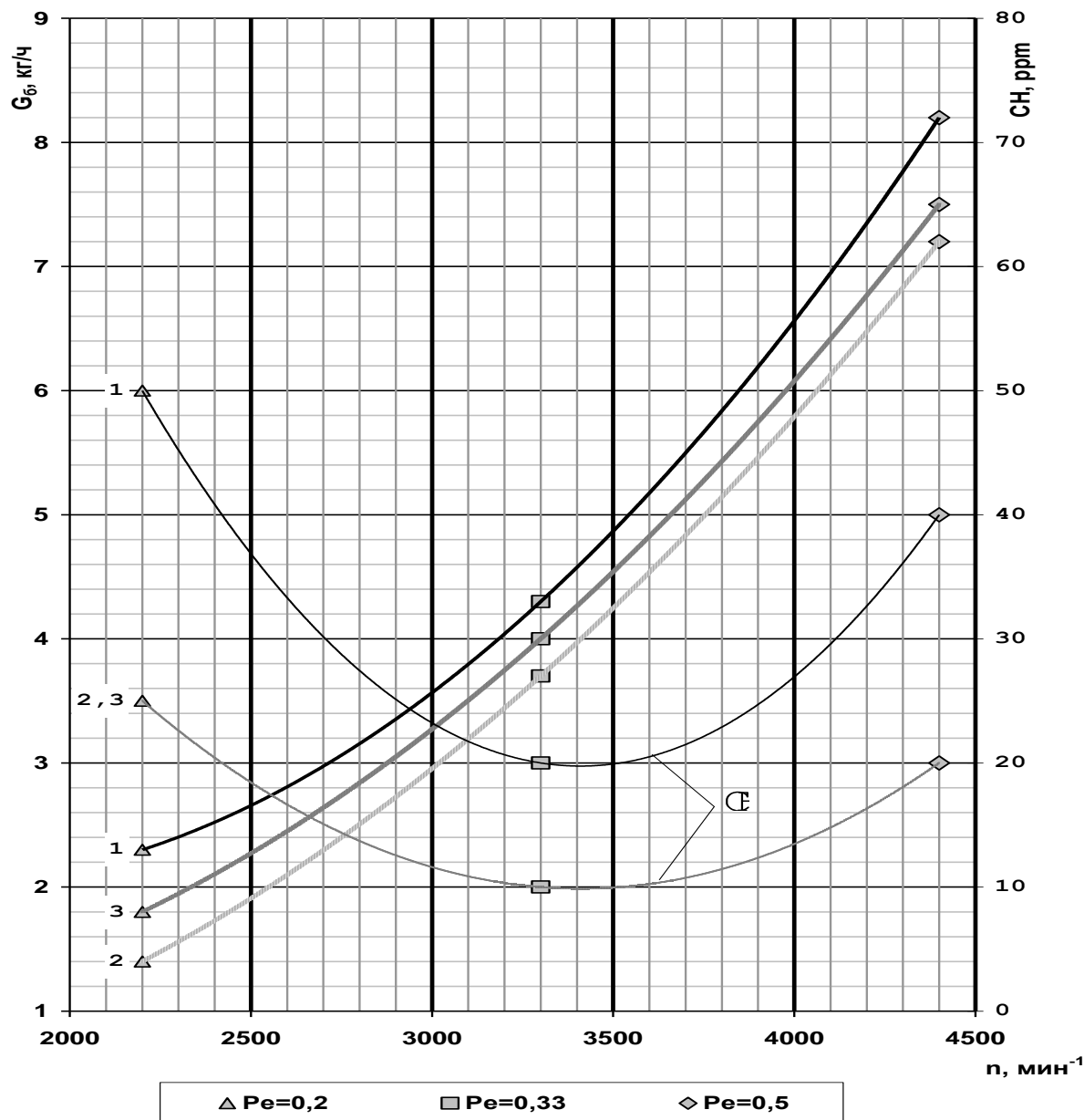
Следовательно, для городских условий необходима транспортная силовая установка, использующая объединенный бортовой источник энергии, гибридная силовая установка (ГСУ) - «тепловой двигатель – тяговый генератор – аккумулятор – силовой конденсатор», в которой двигатель работал бы в постоянном режиме. Для достижения минимума затрат энергии в городских условиях движения наиболее перспективными являются также добавки водорода в топливовоздушную смесь (ТВС) камеры сгорания ДВС, которые существенно уменьшают токсичность отработавших газов и повышают экономичность работы ДВС.

Как показали результаты многочисленных исследований снижение токсичности ОГ при использовании в качестве основного топлива бензина и небольших добавок водорода в бензовоздушную смесь может составить в 2...3 раза по оксиду азота и до 2 по несгоревшим углеводородам за счет возможности обеднения смеси и улучшения процесса сгорания.

Для исследования ДВС применительно к условиям его работы в составе гибридной силовой установки были проведены испытания двигателя ВАЗ-2111. Результаты испытаний представлены на рисунке. При работе на бензовоздушной смеси увеличение оборотов с 2200 мин<sup>-1</sup> и среднего эффективного давления с 0,2 МПа до оборотов 3300...3400 мин<sup>-1</sup> и нагрузки до 0,33 МПа приводит к уменьшению концентрации несгоревших СН с 500 до 200ppm. Затем при дальнейшем росте оборотов до 4400 мин<sup>-1</sup> и нагрузки до 0,5 МПа концентрация несгоревших СН возрастает до 400ppm. Коэффициент избытка воздуха при этом изменяется от 1,15 до 1,2.

Для оборотов 2200 мин<sup>-1</sup> добавка водорода составляла 4,15%, для 3300 мин<sup>-1</sup> – 3,4% и 4400 мин<sup>-1</sup> – 2,7%. Добавка водорода на режиме 2200 мин<sup>-1</sup> снизила концентрацию несгоревших углеводородов

с 500 до 250 ppm, на 3300...3400 мин<sup>-1</sup> с 200 до 100 ppm и на 4400 мин<sup>-1</sup> с 400 до 200 ppm, - вдвое по всей нагрузочной характеристике.



Расход бензина и концентрация CH в ОГ от добавки водорода (ДВС ВАЗ-2111):

1 – работа на бензине,  $\alpha = 1,15 - 1,2$ ; 2 – работа на бензине с добавкой от баллона,  $\alpha = 1,3 - 1,4$ ; 3 – работа на бензине с добавкой H<sub>2</sub> от электролизера,  $\alpha = 1,3 - 1,4$ , расчетная оценка

Полученное снижение концентрации несгоревших СН сопровождается и снижением концентрации оксида азота, NO. Добавка водорода позволила увеличить коэффициент избытка воздуха с 1,19 при  $n=3300 \text{ мин}^{-1}$  до 1,3. Такое увеличение коэффициента избытка воздуха в соответствии с данными рисунка приводит к снижению концентрации оксида азота в 1,5...1,7 раза.

Следовательно, использование данного ДВС в составе ГСУ предполагает режим его работы в диапазоне режимов 2300...2500  $\text{мин}^{-1}$  при добавке водорода в количестве около 4% от расхода бензина при коэффициенте избытка воздуха 1,4 и выше.

**Жуков В.А., Корытов С.В.**

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная  
технологическая академия имени П.А. Соловьева»

### **Способ обеспечения качественного распыливания топлива в дизелях**

Эффективность использования транспортных средств, сельскохозяйственных машин определяется характеристиками установленных на них двигателей. Разработка новых двигателей и модернизация существующих с целью удовлетворения экологических нормативов являются приоритетными задачами двигателестроения. Решение поставленной задачи связано с модернизацией, в первую очередь, систем топливоподачи.

Модернизация систем топливоподачи активно велась в узлах создания давления и узлах дозирования. Изменение принципа дозирования связано с активным развитием систем электронного управления, которое позволило более качественно и точно организовать дозирование топлива. Узлы создания давления также претерпели значительные изменения. Модернизация их была неизбежна, т.к. для достижения высокого качества смесеобразования необходимо повышать давление впрыскивания. Кроме того, в новых си-

стемах в значительной степени реализована независимость давления впрыскивания от режима работы дизельного двигателя. Впрыскивание и распыливание топлива в большинстве существующих систем осуществляются сопловым распылителем с запорной иглой.

По мнению авторов, поиск нового конструктивного решения распылителя форсунки, а возможно, и принципа работы самой форсунки актуален и перспективен. Необходимо такое конструктивное решение, которое позволило бы во всем диапазоне работы двигателя, при любых цикловых подачах обеспечивать заданное качество распыливания топлива вне зависимости от колебаний давления впрыскивания и без существенного его увеличения.

В ходе исследования была создана 3D-модель распылителя, который имеет следующие особенности:

- 1) распылитель штифтовой,
- 2) открытие проходного сечения распылителя обеспечивается движением иглы вниз по направлению потока топлива,
- 3) впрыск осуществляется бесконечным количеством струй – полым конусом,
- 4) величина эффективного проходного сечения зависит от хода иглы распылителя,

Расчеты выполненные с помощью приложения к программному продукту Solid Works - Cosmos Flow Works, позволили определить скорость топлива непосредственно на выходной кромке распылителя при различных углах выходного конуса распылителя. Наилучшие результаты показали распылители с углом у основания запорного конуса 15 и 30°.

По полученным значениям скоростей проводилась оценка мелкокости распыливания по методике, разработанной в МАДИ (ГТУ) с использованием критериев Вебера и Лапласа.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- распылители представленной конструкции могут обеспечивать дисперсность распыливания топлива менее 25 мкм. Причем в распылителе с углом  $30^\circ$  дисперсность достигает минимальных значений в 8 мкм. Достижение указанной дисперсности свидетельствует о том, что данная конструкция является перспективной;
- необходимо провести доработку и исследование механизма привода иглы распылителя и подвода к нему топлива. В исследуемой системе подвод топлива осуществлялся из аккумулятора. При этом давление в полости распылителя как и в существующей системе-прототипе, так и при проведении исследований составляло 80 МПа. Это значительно меньшее значение, чем в существующих аналогах – системах типа UIS и CRS. Достижение хорошего качества распыливания при значительно меньших значениях давления, подаваемого к форсунке, также подтверждает перспективность данной конструкции и указывает на необходимость дальнейших исследований.

**Шайкин А.П., Ивашин П.В., Брызгалов А.А., Шайкина Н.А.**  
Тольяттинский государственный университет

**Взаимосвязь скорости распространения пламени  
с токсичностью отработавших газов по несгоревшим  
углеводородам двигателей с искровым зажиганием**

Выполнение норм Евро-4 и выше по токсичности отработавших газов (ОГ) поршневых двигателей и снижение расхода топлива могут быть решены при обеспечении максимальной полноты сгорания топливно-воздушной смеси (ТВС) вблизи верхней мертвой точки и, в конечном итоге, – высокой скорости сгорания в широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ) и скоростных режимов работы двигателя. Сгорание в двигателях с искровым зажиганием протекает в три стадии: первая – начальная, от момента

воспламенения до формирования устойчивого фронта пламени, вторая, - до достижения максимальной температуры и третья - стадия догорания. Определение стадий сгорания и скоростей распространения пламени представляет известные сложности. Простым и надежным способом определения скоростей распространения пламени в различных зонах камеры сгорания является регистрация появления и измерение величины ионного тока в пламени. Нашими экспериментами показано существование линейной зависимости между средними скоростями распространения пламени в основной (начальная и вторая фаза) и третьей (заключительная) фазах сгорания и величиной ионного тока пламени в диапазоне изменения  $\alpha$  от 1,0 до 1,5. Для обеспечения устойчивой работы двигателя в области обедненной смеси в ТВС добавлялся свободный водород в количестве до 5% от расхода бензина, что снижает долю углерода и увеличивает долю водорода в смеси. При добавке 3 и 5% водорода доля  $H_2$  возрастает на 20,7 и 34,5%, а углерода уменьшается на 3,6 и 5,6%, соответственно. Для этих условий средняя скорость распространения пламени в третьей фазе сгорания при  $\alpha = 1,2$  возросла на 31 и 47,5%, а ионный ток на 39,2 и 55%. В механизме химионизации основную роль играют радикалы  $CH$ . В экспериментах, несмотря на снижение доли углерода в ТВС и, следовательно, радикалов  $CH$ , произошел значительный рост величины ионного тока. Малые добавки водорода не приводят к изменению характеристик турбулентности ТВС в цилиндре двигателя. Следовательно, возрастание скорости распространения пламени происходит из-за увеличения скорости химических реакций во фронте пламени.

Увеличение скорости распространения пламени привело к заметному снижению концентрации  $CH$  в ОГ, особенно в области бедной смеси.

При указанных условиях произошло снижение концентрации несгоревших углеводородов ( $CH$ ) на 27,2 и 40%.

Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимости концентрации несгоревших  $CH$  от относительных сред-



них скоростей распространения пламени и относительного ионного тока. Эти величины получены при делении их текущих значений на значения при  $\alpha = 1,0$ . Концентрация СН от средней скорости распространения пламени в третьей фазе и ионного тока изменяется по кривой с минимумом, соответствующим относительной скорости, равной 0,81...0,84, и относительного ионного тока, равного 0,64.

При испытании газового двигателя КамАЗ-820.53-260, работающего на природном газе, добавка водорода оказала аналогичное влияние. Так, при частоте вращения коленчатого вала  $1500 \text{ мин}^{-1}$  и  $\alpha = 1,3$  добавка 3%  $\text{H}_2$  снизила концентрацию несгоревших СН на 22%, 5% - на 41% , при  $\alpha = 1,45$  снижение токсичности ОГ составило 44 и 263%, соответственно. Полученные результаты также можно объяснить увеличением средней скорости распространения пламени. Использование данных взаимосвязи токсичности ОГ и средних скоростей распространения пламени, полученных при работе на бензовоздушной смеси с добавкой водорода, позволяет оценить связь между относительным снижением концентрации несгоревших СН и относительным ростом скорости распространения пламени.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о возможности создания непрерывной безынерционной системы контроля и управления сгоранием топлива в поршневом двигателе, обеспечивающей минимальную токсичность по несгоревшим углеводородам при высокой эффективности работы.

**Дубинин А.И.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ),

**Зяц В.Д., Худяков В.П. ЦНИРТИ**

### **Диагностика детонации в бензиновом двигателе системой зажигания с многоимпульсным искровым разрядом**

В работе показана возможность определения детонационного характера горения топлива в бензиновом двигателе системой зажи-

гания с многоимпульсным искровым разрядом без использования датчика детонации.

На многих режимах двигатель наиболее эффективно работает при управлении углом опережения зажигания по границе детонации. В состав современных систем управления бензиновых двигателей включается датчик детонации, по показаниям которого производится коррекция угла опережения зажигания. При детонационном характере горения топлива в цилиндре двигателя возникают резкие скачки повышения давления, сопровождающиеся характерными звуковыми колебаниями, которые и должен улавливать датчик детонации. Однако собственные шумы двигателя, зависящие от режима работы и износа двигателя, влияют на показания датчика детонации и могут приводить к ошибкам в определении уровня детонации, что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности работы двигателя.

Многоимпульсная система зажигания позволяет подавать на первичную обмотку катушки зажигания импульсы определённого напряжения и частоты в моменты возможного возникновения детонации. При нормальном протекании процесса горения топлива эти импульсы вызывают в межэлектродном промежутке свечи зажигания непрерывный искровой разряд. В случае детонационного горения топлива возникающие в цилиндре скачки давления вызывают появление искрового разряда прерывистого характера. Это приводит к изменению индуктивности первичной обмотки катушки зажигания и соответственно к изменению параметров напряжения колебательного процесса в первичной обмотке катушки зажигания. По изменению параметров напряжения колебательного процесса в первичной обмотке катушки зажигания можно диагностировать появление детонационного характера горения топлива. Измерения, проведённые на двигателе ЗМЗ-406 в условиях моторного стенда, подтвердили, что система зажигания с многоимпульсным искровым разрядом, реализующая описанный алгоритм, надёжно определяет

наличие детонации в процессе горения топлива без применения датчика детонации.

Основные параметры силового контура экспериментальной многоимпульсной системы зажигания:

- тип катушки зажигания 3012.3705
- ёмкость накопительного конденсатора 1,5 мкФ
- напряжение на накопительном конденсаторе 400В.

**Козин А.М., Русаков М.М.**

Тольяттинский государственный университет

### **Возможности импульсного клапана в системе впуска ДВС**

При эксплуатации автомобиля в городских условиях двигатель большую часть времени работает на частичных нагрузках. Наиболее эффективным для таких режимов работы является использование малолитражного двигателя, который за счет меньшего дросселирования и потерь трения имеет больший КПД, а следовательно, является более экономичным и имеет меньшие выбросы вредных веществ. Однако в этом случае теряется динамика автомобиля и комфортность вождения.

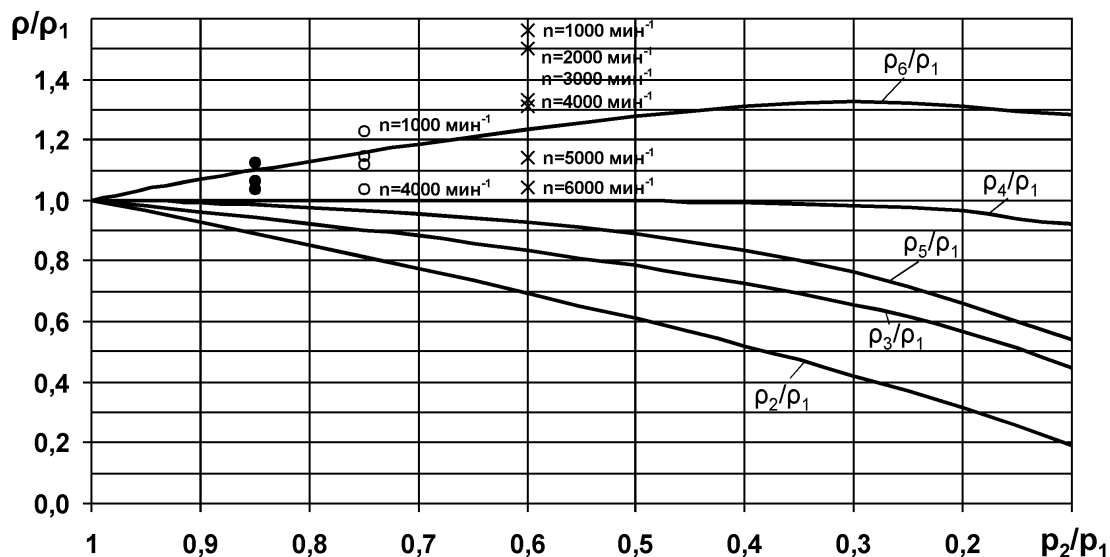
Для повышения динамики автомобиля двигатель должен иметь высокий крутящий момент на низких частотах вращения. Повысить момент двигателя можно использованием динамического наддува (волновые явления во впускном трубопроводе).

Для этого подбирают диаметр и длину впускных трубопроводов, а также устанавливают резонансные емкости в многоцилиндровых двигателях. При этом на низких частотах вращения требуются длинные впускные каналы, а максимальное повышение крутящего момента двигателя составляет 10...12 % .

В последнее десятилетие появились публикации по системе впуска с импульсным клапаном для создания волновых явлений с

помощью быстрого открытия и закрытия впускного канала импульсным клапаном на такте впуска. После открытия импульсного клапана в цилиндр ДВС идет волна сжатия, а в сторону открытого конца – волна разрежения, которая также отражается волной сжатия в направлении цилиндра. В результате повышается наполнение двигателя на 20...30 %.

Для оценки возможной эффективности применения импульсного клапана был произведен расчет максимального ожидаемого давления и плотности воздуха.



Результаты расчета и экспериментов системы впуска с импульсным клапаном:

$\rho_2/\rho_1$  – адиабатическое расширение воздуха;  $\rho_3/\rho_1$  – первая волна сжатия;  $\rho_4/\rho_1$  – отражение первой волны сжатия от неподвижной стенки;  $\rho_5/\rho_1$  – вторая волна сжатия при отражении волны разрежения от открытого конца трубы;  $\rho_6/\rho_1$  – суммарное повышение плотности в системе;

• –  $t = 2,25$  мс;    ◦ –  $t = 2$  мс;    × –  $t = 1,5$  мс

Расчет был проведен для упрощенного случая движения волны сжатия в канале постоянного сечения и отражения ее от закрытого конца с учётом второй волны сжатия. Результаты расчета

представлены на рисунке, на котором представлены опубликованные данные экспериментальных исследований, приведенные к исходному отношению давлений  $p_2/p_1$ .

Из сравнения видно, что основная доля опытов не достигает рассчитанного повышения плотности, а отдельные опыты превышают рассчитанное повышение плотности. В настоящее время готовится программа для расчета модели близкой к реальной конструкции.

**Яковенко А.Л., Мочалов А.В., Шатров М.Г.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Разработка трехмерных параметрических моделей элементов конструкции ДВС для решения задач виброакустики двигателя**

Использование трехмерных моделей элементов двигателя внутреннего сгорания на этапе его конструктивной проработки позволяет повысить точность расчетов, связанных с модальным анализом конструкции ДВС, его газодинамикой, оценкой прочности деталей, а также более точно определять массово-геометрические параметры деталей двигателя.

Трехмерные модели конструкции двигателя должны формироваться на единой методической основе, быть типовыми и параметрическими.

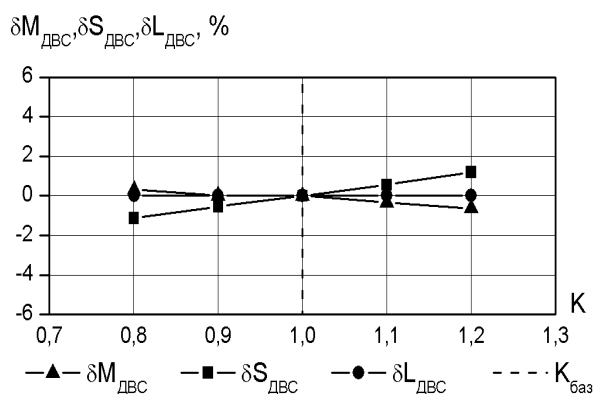
Под параметризацией модели понимается выявление ее характерных размеров и установление функциональной взаимосвязи между ними. Преимуществами использования параметризации при разработке моделей конструкции являются возможность оперативного получения заданной конфигурации детали и сокращение временных и финансовых затрат на проектирование ДВС. При этом с учетом усложнения описания ДВС количество независимых параметров модели будет возрастать как в результате перехода в другое качество (из зависимых в независимые), так и за счет включения в модель новых дополнительных параметров.

На кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ (ГТУ) осуществляется разработка системы автоматизированного проектирования конструкции ДВС на базе системы трехмерного моделирования. Разрабатываемая САПР является компонентом единого информационного пространства «ДВС» и в его рамках может быть использована многоаспектно, в том числе для решения задач виброакустики двигателя.

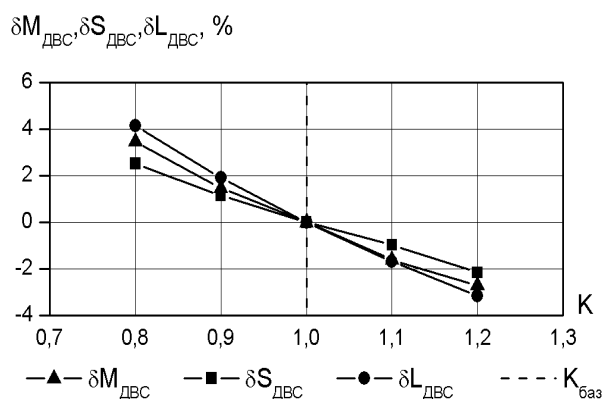
По сформированным трехмерным моделям объекта исследования определяются его массово-геометрические параметры, необходимые при расчете акустической мощности, например, масса и площадь наружной поверхности двигателя.

В качестве примера возможного использования разработанных трехмерных моделей на рисунке представлены результаты расчета изменения массово-геометрических параметров дизеля 8ЧН 12/12 при варьировании его коэффициента короткоходности  $K$  от 0,8 до 1,2. При этом в качестве условия исследования были заданы постоянство рабочего объема цилиндра, а также постоянство межцилиндрового расстояния  $a_{мц}$  или толщины рубашки охлаждения между цилиндрами  $t_{вц}$ .

а



б



Зависимость массово-геометрических параметров дизеля 8ЧН 12/12 от коэффициента короткоходности  $K$ : а –  $a_{мц} = \text{const}$ ; б –  $t_{вц} = \text{const}$

Данный расчет был выполнен в рамках исследования изменения акустической мощности ДВС при варьировании его коэффициента короткоходности.

Кроме того, на базе трехмерных моделей деталей ДВС формируются его конечно-элементные модели. Данные модели используются в системах инженерного анализа при расчете собственных и вынужденных колебаний двигателя. По результатам модального анализа выбирается направление изменения конструкции корпусных деталей ДВС для уменьшения скорости колебаний их наружных поверхностей, после чего осуществляются новые расчеты для оценки эффективности предложенных конструктивных вариантов.

Для модели масляного поддона двигателя было проведено сравнительное исследование конструктивных решений, направленных на увеличение жесткости конструкции: выштамповок круглой формы, продольных и поперечных ребер на наиболее сильно колеблющихся поверхностях. По результатам данного исследования было установлено, что добавление выштамповок круглой формы приводит к смещению собственных частот в область с большими значениями, тогда как применение поперечных ребер привело к уменьшению значений собственных частот. Таким образом, вариант с круглыми выштамповками является предпочтительным.

Результаты модального анализа используются также при расчете акустической мощности ДВС при его резонансных колебаниях по главным формам.

**Матюхин Л.М.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Универсальный критерий оценки эффективности термодинамических циклов**

Эффективность производства, преобразования и переноса энергии определяется уровнем сопутствующих этим процессам потерь.

Общим для всех циклов является наличие «горячих» и «холодных» источников теплоты, а также то обстоятельство, что разность

между подведенной и отведенной теплотой численно равна получаемой работе или работе, затрачиваемой на совершение обратного цикла. Значения же оценочных параметров (КПД, холодильного и отопительного коэффициентов) при этом характеризуются различными предельными значениями. Так, например, для обратимых прямого и обратного циклов Карно, реализуемых в диапазоне температур [400 ... 300 К], коэффициент полезного действия составляет

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 0,25,$$

холодильный коэффициент

$$\zeta = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = 3,$$

а отопительный коэффициент равен четырем

$$(\zeta_T = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{400}{400 - 300} = 4).$$

При этом идеальным пределом, к которому стремится значение термического КПД, является единица, а подобный предел для холодильного и отопительного коэффициентов просто отсутствует.

В случае представления оценочных критериев термодинамических циклов через подводимую и отводимую теплоту получаются выражения

$$\zeta = \frac{q_2}{l_y} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{q_1}{1 - \frac{q_2}{q_1}}$$

$$\eta_t = \frac{l_y}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \quad \text{и} \quad \zeta_t = \frac{q_1}{l_y} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{1}{1 - \frac{q_2}{q_1}}.$$

Из этих формул следует, что все рассматриваемые показатели эффективности термодинамических циклов являются функцией отношения теплот « $q_2/q_1$ ». Условно назовем отношение  $\beta = \frac{|q_2|}{|q_1|}$  «коэффициентом переноса теплоты». Этот коэффициент представляет



собой долю теплоты, передаваемой от одного источника теплоты другому. Поскольку в прямых циклах потери теплоты  $q_2$  должны быть минимальными, эффективность таких циклов возрастает с уменьшением величины коэффициента переноса. В обратных циклах должна быть минимальна затрачиваемая на совершение цикла работа  $l_y = |q_1| - q_2$ , т.е. числитель в выражении  $\beta = \frac{|q_1| - |l_y|}{|q_1|}$  должен

быть как можно большим. Следовательно, в обратных циклах желательно увеличение коэффициента переноса  $\beta$ . При этом численное значение этого коэффициента всегда остается меньше единицы и в идеале стремится к ней. В связи с тем, что эффективность как отдельных процессов, так и их совокупности – циклов – зависит от потерь, коэффициент переноса теплоты  $\beta$  есть величина, напрямую оценивающая уровень этих потерь.

Показатели эффективности термодинамических циклов могут быть представлены в виде

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \beta, \quad \zeta = \frac{q_2}{l_y} = \frac{\frac{q_q}{q_1}}{1 - \frac{q_2}{q_1}} = \frac{\beta}{1 - \beta} \quad \text{и} \quad \zeta_t = \frac{q_1}{l_y} = \frac{1}{1 - \frac{q_2}{q_1}} = \frac{1}{1 - \beta}.$$

Аналогично  $\beta = 1 - \eta_t$ , а также  $\beta = \frac{\zeta}{1 + \zeta}$   $\beta = \frac{\zeta_t - 1}{\zeta_t}$ .

Для рассмотренного выше варианта цикла Карно с  $\eta_t = 0,25$  для прямого цикла и с  $\zeta = 3$  и  $\zeta_t = 4$  для обратного цикла величина коэффициента переноса  $\beta$  одинакова и равна

$$\beta = \frac{q_2}{q_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{300}{400} = 0,75.$$

Выводы. Использование коэффициента переноса теплоты для оценки эффективности термодинамических циклов характеризуется следующими преимуществами:

- коэффициент переноса теплоты универсален, поскольку величина  $\beta$  характеризует эффективность как прямых, так и обратных циклов; его

универсальность подтверждается применимостью коэффициента переноса теплоты для получения 1-го и 2-го интегралов Клаузиуса на основе не только прямых, но и обратных циклов;

- применение коэффициента  $\beta$  позволяет установить предельные его значения не только для прямых, но и для обратных циклов (соответственно «0» и «1»);
- вне зависимости от назначения цикла – прямой или обратный – его эффективность характеризуется единственным значением  $\beta$ ;
- коэффициент  $\beta$  представляет собой отношение одноименных величин, что упрощает понимание его сути как доли теплоты, передаваемой холодному источнику (для прямых циклов) или горячему источнику (для циклов обратных). В сравнении с КПД, а также с холодильным и отопительным коэффициентами это делает коэффициент  $\beta$  более понятным для восприятия, что важно в дидактических целях;
- с использованием коэффициента переноса теплоты анализ эффективности циклов в «s-T»-координатах становится более простым и наглядным;
- в общем случае коэффициент переноса теплоты  $\beta$  есть величина, напрямую оценивающая уровень потерь, поскольку эффективность как отдельных процессов, так и их совокупности – циклов – зависит от затрат тепловой или механической энергии.

**Кальней Е.Д., Максименко В.Н., Русаков М.М.**

Тольяттинский государственный университет

**Возможности увеличения эффективности  
нагнетателя для наддува ДВС легкового автомобиля**

В докладе рассматривается нагнетатель для наддува ДВС легкового автомобиля. На основе анализа зависимости к.п.д. компрессоров от конструктивных параметров предложены пути повы-

шения эффективности компрессора изменением угла  $\alpha$  между осями вращения роторов.

Были построены модели винтового компрессора с цилиндрическими и коническими роторами и рассчитаны их характеристики (рис. 1 и 2). За исходные параметры принималось равенство диаметра  $D$  ведущего ротора и зазоров в компрессоре с цилиндрическими роторами эквивалентному диаметру  $D_{\text{ЭК}}$  и зазорам компрессора с коническими роторами. Зазор в зацеплении  $\delta_i=0,12$  мм, зазор по вершинам зубьев  $\delta_r=0,12$  мм, зазор по торцам роторов  $\delta_a=0,08$  мм. Отношение длины роторов к диаметру  $L/D=L/D_{\text{ЭК}}=1,4$ . Эквивалентный диаметр  $D_{\text{ЭК}}$  определялся масштабированием диаметра  $D$  на радиусе  $R$  наружной сферы торцов конических роторов  $D_{\text{ЭК}}=kD$ , где

$$k = \sqrt{\frac{R^3 - (R-L)^3}{3LR^2}}$$

Сравнение характеристик показывает, что компрессор с коническими роторами по сравнению с компрессором с цилиндрическими роторами имеет более широкую область высоких значений к.п.д. по расходу воздуха  $Q$  и степени повышения давления  $\pi_k$ . Максимальный к.п.д. составляет  $\eta_{\text{ад}}=0,698$ , диапазон по расходу воздуха при этом от 4,5 до 6 м<sup>3</sup>/мин, что соответствует работе ДВС с  $iV_h=1,5$  л при частоте вращения коленчатого вала 5600 мин<sup>-1</sup> для  $\pi_k=1,8$ .

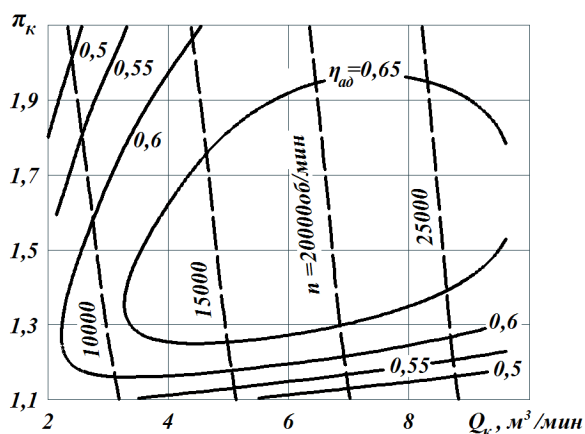


Рис. 1. – Многопараметрическая характеристика компрессора с цилиндрическими роторами,  $\alpha=0^\circ$

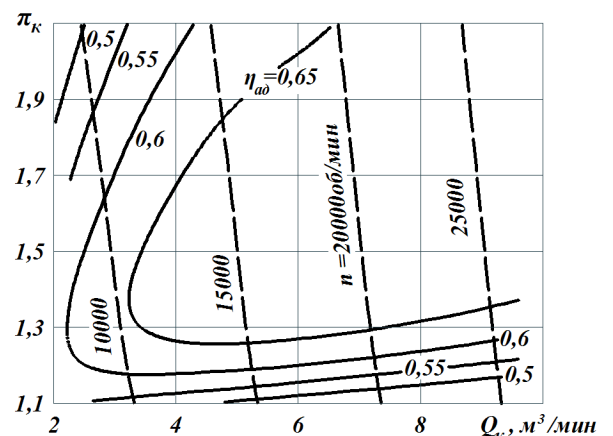


Рис. 2. – Многопараметрическая характеристика компрессора с коническими роторами,  $\alpha=10^\circ$

Использование конических роторов также открывает возможность поддерживать зазоры на минимальных значениях [2] в процессе эксплуатации нагнетателя с целью увеличения эффективности его работы. Для наглядного представления о влиянии зазоров на рис. 3. показана зависимость к.п.д. компрессора при фиксированных значениях  $\pi_k=1,5$  и  $Q=4,8$ .

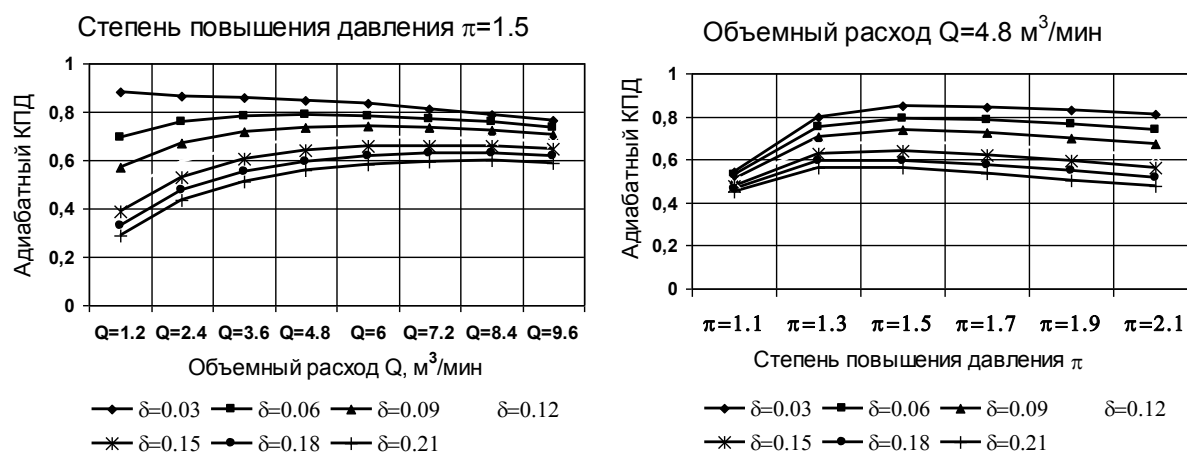


Рис. 3. Значения к.п.д. компрессора с коническими роторами ( $\alpha=10^\circ$ ) при различных зазорах  $\delta_i=\delta_r=\delta$  в диапазоне  $0,03\text{мм}<\delta<0,21\text{мм}$

Расчеты режимов работы нагнетателя показывают, что для достижения значения адиабатного к.п.д.  $\eta_{ад}$  выше 0,7 в широкой области необходимо выдерживать эксплуатационные зазоры между роторами и корпусом менее 0,1 мм. С этой целью предлагается использовать конические винтовые роторы с углом  $\alpha=5\dots 15^\circ$ .

**Кричевская Т.Ю., Яковенко А.Л., Петров А.М., Сентюров А.В.,  
Субботин А.В., Яшенкин С.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### Трехмерное моделирование турбокомпрессора

В условиях развития современных информационных технологий важными качествами современного инженера являются умение разрабатывать конструкторскую документацию (чертежи, специфика-

кации и т.д.) в электронном виде, владение навыками трехмерного моделирования и базовыми основами программирования.

В рамках учебного процесса на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ (ГТУ) осуществляется преподавание приемов работы в системе трехмерного моделирования T-Flex CAD.

В процессе работы студентами выполняется учебное задание, которое заключается в моделировании конструкции элементов механизмов и систем ДВС.

Приобретенные навыки работы в системе трехмерного моделирования в дальнейшем могут быть использованы студентами как при выполнении дипломного проекта, бакалаврской и магистерской работ, так и при решении профессиональных задач.

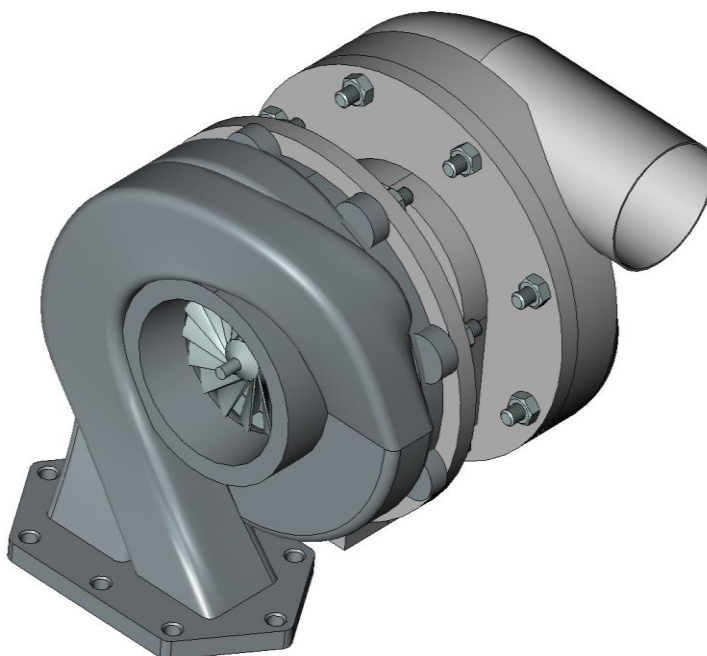
При создании параметрического чертежа на первом этапе формируются базовые элементы построения и устанавливаются аналитические взаимосвязи между ними. На втором этапе осуществляется привязка линий изображения к этим элементам построения.

Преимуществом параметрического проектирования является возможность создания чертежа и трехмерной модели, которые будут легко изменяться по необходимости. Кроме того, их можно использовать в качестве элементов параметрической библиотеки для создания других, более сложных чертежей и моделей.

Главными преимуществами параметризации являются сокращение временных и финансовых затрат при осуществлении исследований, связанных с изменением конструкции элементов ДВС, возможность оперативного контроля вносимых в модель изменений.

В докладе представлены результаты моделирования турбокомпрессора. Для выполнения работы в качестве прототипа был использован реальный турбокомпрессор. Это дало возможность студентам изучить особенности конструкции турбокомпрессора и упростило работу по созданию модели.

Таким образом, были сформированы параметрические чертежи и трехмерные модели деталей турбокомпрессора, его сборочная модель (рисунок), avi-файлы с анимацией работы и сборки турбокомпрессора.



Модель турбокомпрессора

Работа является вносит большой вклад в развитие базы трехмерных моделей деталей двигателя внутреннего сгорания, разрабатываемой на кафедре, и будет использована в компьютерной лекции.

**Кричевская Т.Ю., Яковенко А.Л.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Использование системы трехмерного моделирования  
T- FLEX CAD при подготовке студентов специальности 140501  
«Двигатели внутреннего сгорания»**

В связи с развитием информационных технологий важной задачей является разработка единого информационного простран-

ства «Двигатель внутреннего сгорания», которое предполагает консолидацию всех автоматизированных систем, применяемых в жизненном цикле ДВС вокруг его информационной модели (геометрического моделирования (CAD), инженерных расчетов (CAE), производства (CAM) и т.д.).

От современного инженера требуется умение разрабатывать конструкторскую документацию (чертежи, спецификации и т.д.) в электронном виде, владеть навыками трехмерного моделирования и базовыми основами программирования.

На кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ (ГТУ) проводится обучение студентов-двигателистов навыкам работы в системе трехмерного моделирования T-flex CAD, в процессе которого они выполняют задание по моделированию конструкции элементов механизмов и систем ДВС. При этом происходит активная коллективная работа, способствующая выработке у обучаемых, помимо собственно приемов работы в системе трехмерного моделирования, еще и навыков работы в команде. В дальнейшем полученные знания применяются студентами при выполнении научно-исследовательской работы (дипломного проекта, бакалаврской и магистерской работ) и решении профессиональных задач.

При разработке трехмерных моделей широко применяется параметризация, которая дает возможность в сжатые сроки проводить и оценивать изменения конструкции проектируемого элемента. Основным преимуществом параметризации является сокращение временных и финансовых затрат при осуществлении исследований, связанных с изменением конструкции элементов ДВС.

Обобщенная параметрическая модель конструктивного элемента ДВС строится на основе его сформированной иерархической структуры в виде графа, описывающего весь спектр его возможных технических решений. К каждой вершине определенного уровня этого графа конструкции с учетом важности «привязываются» ряд необходимых и достаточных для описания параметров. Такой подход

позволяет, используя обобщенную параметрическую модель, в зависимости от требуемого уровня описания ДВС формировать соответствующие частные модели этого уровня.

Сформированные таким образом трехмерные модели используются многоаспектно:

- в учебном процессе - для визуализации конструкции и функционирования элементов ДВС в интегрированном обучающем комплексе «Двигатели внутреннего сгорания»;
- в научно-исследовательских работах - для получения конечно-элементных моделей конструкции ДВС, необходимых при выполнении прочностных и виброакустических расчетов, а также для определения массово-геометрических параметров деталей двигателя.

Разработанный подход использования высоких технологий в научно-исследовательской работе и учебном процессе успешно прошел апробацию. При этом повысился уровень подготовки выпускников, они могут на новом техническом уровне решать задачи проектирования и конструктивной доработки отдельных деталей двигателя.

**Курин М.С.**

Тутаевский филиал

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная  
технологическая академия имени П.А. Соловьёва»

#### **Обеспечение экологических норм ЕВРО – 4** **двигателями ЯМЗ –840**

Экологические нормы на автомобильные двигатели в России постепенно приближаются к европейским. Это вынуждает отечественных производителей проводить активные работы по повышению уровня экологической безопасности выпускаемых двигателей.

Мероприятия, направленные на снижение выброса токсичных веществ с отработавшими газами автомобильных ДВС, можно раз-



делить на следующие основные группы:

- совершенствование рабочего процесса двигателей;
- совершенствование конструкции и технологии изготовления узлов и деталей двигателей;
- разработка дополнительных методов и устройств, снижающих токсичность отработавших газов;
- использование альтернативных топлив, добавок и присадок к ним;
- правильная эксплуатация, своевременное и качественное техническое обслуживание силовых установок с ДВС;
- использование нетрадиционных (новых) схем двигателей;
- применение различных комбинированных методов и средств.

Применительно к дизельным двигателям семейства ЯМЗ – 840, выпускаемым ОАО «Тутаевский моторный завод», для выполнения перспективных норм уровня ЕВРО-4 предлагается выполнение следующих мероприятий.

Оснащение двигателя топливной аппаратурой с давлением впрыска 100...150 МПа, с применением электронного регулятора частоты вращения.

Также необходима и модернизация системы наддува. Как показали эксперименты, проведённые на двигателях семейства ЯМЗ 840 в НАМИ, применение регулируемого турбокомпрессора с повышенным КПД обеспечивает существенное снижение выбросов «дисперсных частиц». Дополнительный эффект может быть достигнут за счёт применения глубокого охлаждения наддувочного воздуха, например в теплообменнике типа «воздух - воздух». При этом наблюдается также и существенное снижение выбросов оксидов азота.

Обеспечение перспективных экологических норм невозможно без дополнительной обработки отработавших газов в выпускной системе двигателя. Это требует установки сажевого фильтра с каталитическим нейтрализатором с системой регенерации, а для сниже-

ния выбросов оксидов азота необходима система рециркуляции отработавших газов. Однако работы по применению данных устройств на двигателях семейства ЯМЗ – 840 находятся на начальном этапе, и выводы об их эффективности делать рано.

**Жуков В.А., Фигурин В. А.**

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная  
технологическая академия имени П.А. Соловьева»

### **Снижение дымности и токсичности отработавших газов путем модернизации свечи зажигания**

Двигатели с искровым зажиганием (ДсИЗ) продолжают оставаться основным видом энергоустановок для легковых автомобилей, количество которых как в России, так и во всем мире неуклонно возрастает.

В ДсИЗ к числу систем, существенно влияющих на процесс воспламенения и сгорания топлива, а следовательно, и на токсичность и дымность отработавших газов, следует отнести систему зажигания. Воспламенение топливовоздушной смеси осуществляется от электрической искры, подаваемой на электроды свечи. Под действием искры происходит практически мгновенное локальное нагревание газа до температур, превышающих  $10^4$  К. После прекращения разряда накопленная в шаровом объеме, расположенном непосредственно у электродов, теплота будет отводиться в окружающие слои газа. Отвод теплоты будет компенсироваться теплотой, выделяющейся в результате сгорания смеси. Описанные процессы формируют очаг воспламенения сферической формы с радиусом 2...3 мм. Формирование первоначального очага воспламенения протекает под действием таких факторов, как состав смеси, тепловая мощность искры, характер и интенсивность движения свежего заряда в зоне электродов. Именно влиянию последнего фактора были посвящены проведенные исследования.

Изменение скоростного режима двигателя от минимальной до максимальной частоты вращения коленчатого вала приводит к повышению скорости свежего заряда на впуске от 6 до 80 м/с (для двигателей ВАЗ) и характера течения в области свечи зажигания. При характерном размере свечи 10 мм числа Рейнольдса изменяются от  $4,8 \cdot 10^3$  до  $60 \cdot 10^3$ , т.е. переходный режим течения заменяется развитым турбулентным. Фотографирование, проведенное в процессе исследований, показало, что турбулизация потока приводит к срыву электрической искры на свечах типичных конструкций. Добиться улучшения условий протекания первого периода воспламенения можно за счет торможения и стабилизации потока заряда в области электродов. Для достижения поставленной цели разработана модернизированная свеча зажигания, одному из электродов которой придана специальная форма. Фотографирование подтвердило стабилизацию искры на модернизированной свече.

Для оценки эффективности осуществленной модернизации были проведены моторные испытания двигателя ВАЗ-21083, в процессе которых определялось содержание в отработавших газах оксида углерода CO и углеводородов  $C_nH_m$ . Испытания проводились на различных типах топлива (пропане и бензине), на каждом из этапов испытаний использовались поочередно комплекты стандартных и модифицированных конструкций свечей зажигания.

В результате испытаний установлено:

- - модернизированные свечи обеспечивают устойчивую работу двигателя на различных нагрузочных режимах при использовании как бензина, так и газового топлива;
- - газовые топлива более устойчивы к термическому разложению, поэтому для более полного сгорания требуется более продолжительное время горения горючей смеси газового топлива с воздухом. По этой причине при использовании газа требуется увеличить угол опережения зажигания (УОЗ). Так, начальный угол опережения зажигания  $УОЗ_0$  был увеличен с  $4^\circ$  до  $6^\circ$  поворота коленчатого вала.

Следует отметить, что дальнейшее увеличение УОЗ приводило в ходе испытаний к перегреву двигателя и калильному зажиганию;

- - использование предложенной конструкции свечей зажигания при работе двигателя на газе и  $УОЗ_0 = 6^0$  позволяет существенно повысить экологические показатели ДСИЗ за счет стабилизации электрических параметров дуги, снижения скорости потока в области электродов свечи зажигания, уменьшения частоты отрыва дуги и интенсификации процессов воспламенения.

**Рыбаков В.К., Дунин А.Ю.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Новое семейство дизелей МЕРСЕДЕС-БЕНЦ OM651”**

Компания «Мерседес-Бенц» разработала и представила новый дизель модели OM651, оснащенный сажевым фильтром. Двигатель оборудован двухступенчатым наддувом, включающим в себя турбокомпрессор низкого давления и турбокомпрессор высокого давления. Номинальная мощность составляет 150 кВт, а максимальный эффективный крутящий момент – 500 Н·м.

На дизель установлена топливная система (ТС) Common Rail Direct Injection второго поколения (CRD2) производства фирмы Delphi. ТС оснащена новыми пьезоэлектрическими форсунками. По сравнению с традиционными форсунками для Common Rail, у которых управление иглой идет через гидравлический преобразователь, в новых форсунках реализовано прямое управление иглой. Кроме того, форсунки не имеют обратки. Распылители новых форсунок имеют пять сопловых отверстий. Давление топлива в аккумуляторе меняется от 40 до 200 МПа.

Дизель имеет следующие конструктивные особенности:

- для обеспечения компактной конструкции приводы механизма газораспределения, топливного насоса высокого давления, масля-

ного насоса и балансирующего механизма Ланчестера расположены на задней торцевой стенке блока (рисунок). Это дает уменьшение габаритной длины двигателя на 4 см, повышение пассивной безопасности, подходит для установки коробок передач различных типов. Приводная шестерня 2 соединена с коленчатым валом 3 с помощью сварки трением. С другой стороны коленчатого вала установлен торсионный гаситель 7 крутильных колебаний (TSD);

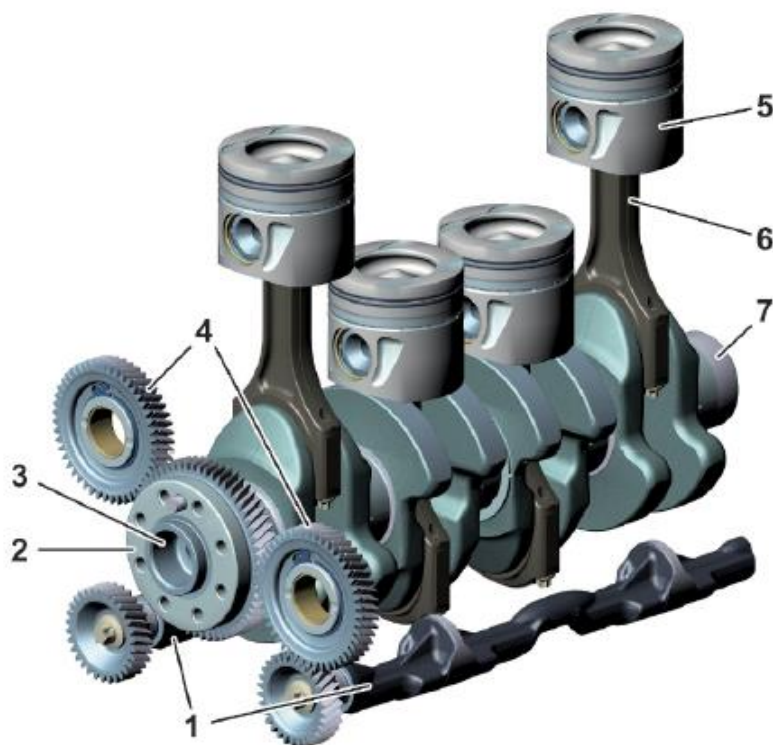


Рис. 1. Кривошипно-шатунный механизм и привод вспомогательных механизмов: 1 – балансирующие валы Ланчестера; 2 – приводная шестерня; 3 – коленчатый вал; 4 – промежуточные шестерни; 5 – поршень; 6 – шатун; 7 – торсионный гаситель крутильных колебаний

- постели коренных подшипников изготовлены с интегрированными корпусами балансирующего механизма Ланчестера, который включает два балансирующих вала. Эти валы предназначены для уравновешивания сил инерции второго порядка;
- на дизеле использована трехклапанная схема (два впускных клапана и один выпускной), все клапаны приводятся от одного верх-

него распределительного вала с помощью роликовых коромысел пониженного трения. В коромысла интегрированы гидрокомпенсаторы;

- для повышения эффективности охлаждения применяются переключаемые форсунки для струйного масляного охлаждения днища поршней; масляный насос с переменной производительностью; жидкостный насос системы охлаждения с управлением его производительностью; головка цилиндров с двойной рубашкой охлаждения;
- применена оптимизированная двухсекционная конструкция масляного поддона, снижающая шум. Нижняя часть масляного поддона изготовлена из полимерного материала.

**Яковенко А.Л., Шатров М.Г., Набиль Гадир**  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Результаты расчета акустической мощности основных источников структурного шума ДВС с использованием компонентов единого информационного пространства «ДВС»**

В настоящее время задача разработки единого информационного пространства «ДВС» (ЕИП ДВС) является актуальной. Его применение при проектировании и эксплуатации двигателя позволяет сократить временные и финансовые затраты, интенсифицировать обмен информацией между участниками его жизненного цикла.

На кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» осуществляется разработка компонентов ЕИП ДВС, предназначенных для решения задач виброакустики двигателя внутреннего сгорания. Одной из таких задач является расчет структурного шума ДВС.

На кафедре разработана и успешно применяется методика расчета акустической мощности основных источников структурного шума ДВС, к которым относятся рабочий процесс и перекладки

поршней. Данные методики были использованы при разработке компонента ЕИП «ДВС» - САПР «Виброакустика ДВС».

Еще один компонент ЕИП ДВС – САПР «Конструкция ДВС» - разработан на базе системы трехмерного моделирования и позволяет получать параметрические модели конструкции двигателя заданной конфигурации. Данные модели могут быть использованы многоаспектно: для получения массово-геометрических параметров конструкции двигателя, его модального анализа, расчета газодинамики, напряженно-деформированного состояния деталей и т.д. В частности, с помощью данного компонента ЕИП ДВС были определены массово-геометрические параметры конструкции двигателя, необходимые при расчете акустической мощности.

В итоге была сформирована методика расчета акустической мощности двигателя с использованием разработанных компонентов ЕИП ДВС. Она включает в себя ряд этапов: подготовку информационного модуля для описания концепции ДВС, формирование заданной модели конструкции ДВС и определение ее требуемых характерных параметров, расчет рабочего цикла двигателя и получение его индикаторной диаграммы, расчет общего уровня и спектров акустической мощности источников структурного шума ДВС.

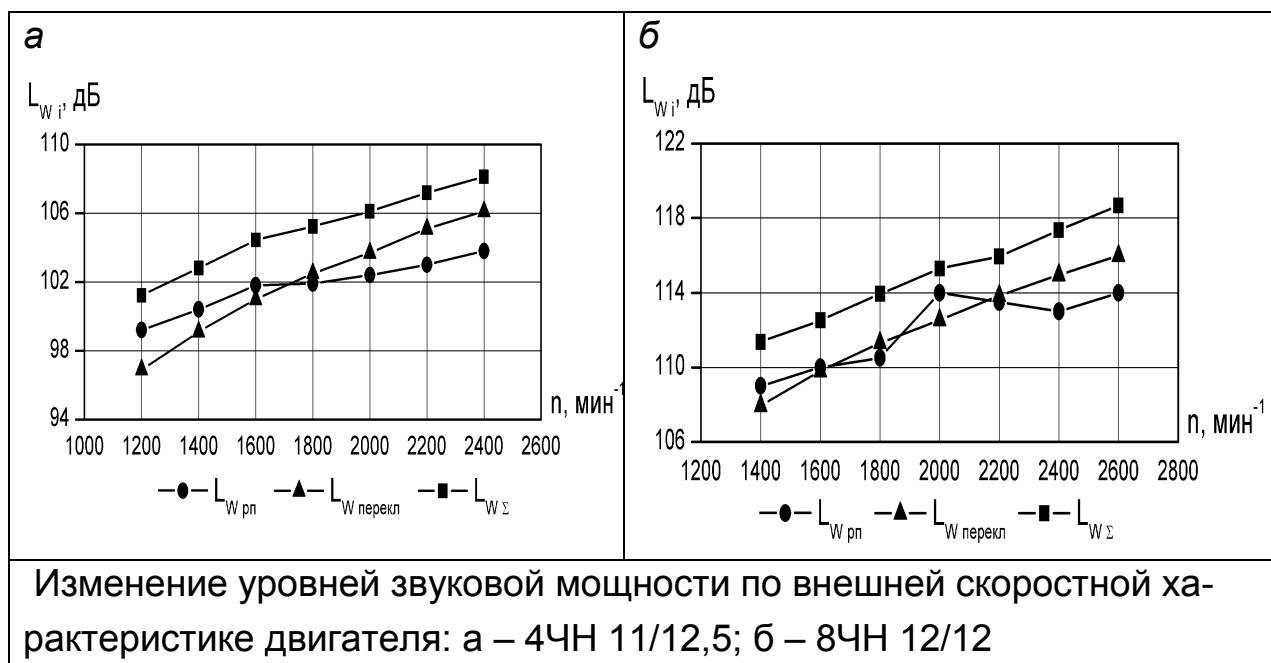
С использованием разработанной методики и компонентов ЕИП ДВС был выполнен расчет звуковой мощности от рабочего процесса и переключений поршней дизелей 8ЧН 12/12 и 4ЧН 11/12,5 по внешней скоростной характеристике (рисунок) и при варьировании коэффициента короткоходности  $K=S/D$ .

В результате для дизеля 8ЧН 12/12 при изменении частоты вращения коленчатого вала по ВСХ от минимальной до номинальной происходит увеличение уровня излучаемого структурного шума от рабочего процесса на 5 дБ, а для дизеля 4ЧН 11/12,5 – на 4,6 дБ. Шум от переключений поршней увеличивается на 9,8 и 9,2 дБ, соответственно.

При изменении коэффициента короткоходности  $K$  от 0,8 до 1,2 и постоянстве межцилиндрового расстояния  $a_{мц}$  уровень звуковой мощности от рабочего процесса дизеля 8ЧН 12/12 уменьшился на

1,1 дБ, а при неизменности толщины рубашки охлаждения между цилиндрами  $t_{вц}$  – на 1,3 дБ. Для модели 4ЧН 11/12,5 соответствующие уровни звуковой мощности уменьшились на 2,3 и 2,6 дБ.

Основной причиной, вызвавшей уменьшение уровня акустической мощности, является изменение диаметра цилиндра, так как спектральная плотность силового возбуждения конструкции от реализации рабочего процесса в цилиндре двигателя пропорциональна площади поршня или квадрату диаметра цилиндра. Влияние принятых дополнительных условий (постоянства  $a_{мц}$  и  $t_{вц}$ ) в данном случае не является существенным.



При увеличении  $K$  от 0,8 до 1,2 акустическая мощность от переключений поршней оставалась постоянной или незначительно увеличивалась. Спектральная плотность силы от переключений поршней зависит от  $D$ ,  $S$ ,  $M_{двс}$ ,  $S_{двс}$ ,  $L_{двс}$  неоднозначным образом. При варьировании коэффициента короткоходности происходит взаимная компенсация влияния изменения данных параметров. Поэтому общий уровень акустической мощности остается практически неизменным.



Гришин Ю.А., Хазов Н.В.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

### Численный расчет динамического наддува ДВС

Принцип динамического наддува состоит в следующем: при открытии органов впуска, т.е. клапанов или окон, на входе в цилиндр генерируется волна разрежения, поскольку начинается процесс впуска свежего заряда в цилиндр. Далее, распространяясь по впускному трубопроводу и дойдя до конца, волна разрежения отражается волной сжатия. И в этом случае задача конструктора состоит в подборе таких геометрических параметров трубопровода, чтобы отраженная волна подошла к закрывающемуся органу впуска ближе к моменту его закрытия, производя таким образом интенсификацию процесса впуска и «дозарядки». Динамический наддув позволяет не только увеличить коэффициент наполнения  $\eta_v$  (и, следовательно, мощность двигателя), что известно уже давно, но и, как будет показано ниже, снизить удельный эффективный расход топлива дизелем.

В качестве основы для моделирования течений газа в трубопроводах применялась новая схема метода характеристик с плавающей сеткой (МХПС), которая разработана на кафедре «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана и позволяет обеспечить выполнение законов сохранения.

Объектом исследований являлся двигатель Д-120 производства Владимирского моторо-тракторного завода. Для исследования влияния геометрии впускных трубопроводов на  $\eta_v$  на номинальном режиме был выполнен расчет для труб диаметром 32, 36, 40, 42 и 44 мм и длиной от 0,9 до 1,9 м. Графики изменения коэффициента наполнения приведены на рис.1, а. Кроме того, на рисунке приведе-

ны экспериментальные значения  $\eta_v$  для трубопровода диаметром 42 мм.

Эффективный КПД двигателя является произведением индикаторного КПД и механического. С увеличением  $\eta_v$  при том же часовом расходе топлива увеличивается коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Рост  $\alpha$  обеспечивает увеличение индикаторного КПД дизеля, что определяется двумя причинами:

- улучшением смесеобразования;
- часть тепла, выделяющегося при сгорании топлива, идет не в стенки, а подогревает дополнительно попавший воздух, повышая давление в цилиндре.

Механические потери в ДВС формируются из потерь на трение, насосных потерь и мощности, затрачиваемой на привод агрегатов. Изменение длины трубопровода приводит к волнообразному изменению не только  $\eta_v$ , но и насосных потерь. Минимума потери достигают в области между двумя максимумами  $\eta_v$ .

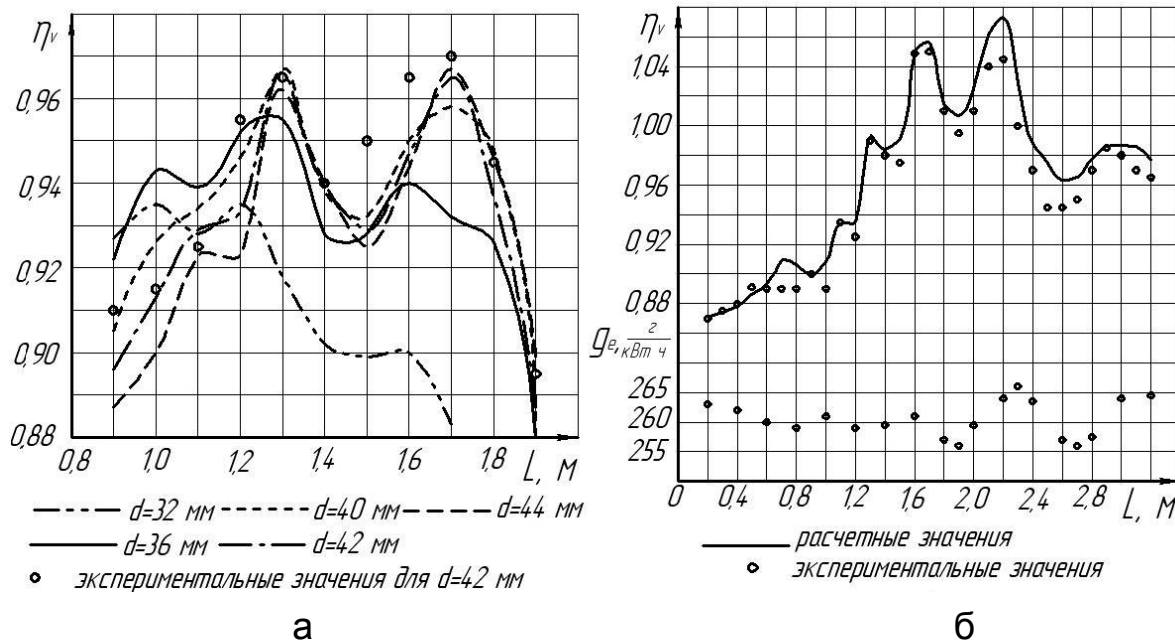


Рис.1. Изменение показателей работы ДВС при изменении длины впускного трубопровода

Таким образом, интерполяция колебаний индикаторного КПД и механического КПД в зависимости от длины впускного трубопровода приводит к наличию области максимального эффективного КПД, а значит, и минимума удельного эффективного расхода топлива.

Данный вывод нашел подтверждение в эксперименте с двигателем 1Ч8,5/11, выполненным в ЦНИДИ Семеновым Б.Н. и Комовым А.П.. Результаты эксперимента приведены на рис. 1, б.

Испытания двигателя Д-120 показали, что благодаря увеличению  $\eta_v$  удельный эффективный расход топлива снизился на 9 г/(кВт·ч).

**Яманин А.И.**

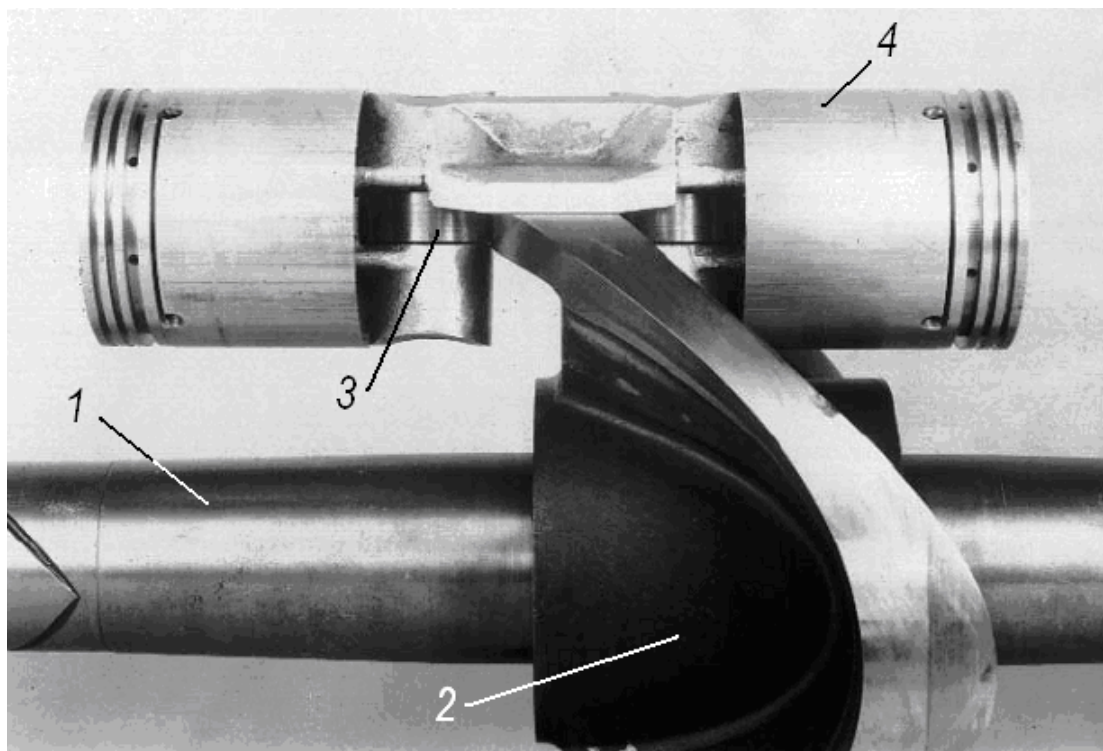
Ярославский государственный технический университет

### **Транспортные двигатели с CAM-DRIVE механизмами**

В истории двигателестроения достаточно давно известны (и даже выпускались серийно) поршневые двигатели с плоскими и пространственными кулачковыми преобразующими механизмами (известные также, как cam-drive piston engine), рисунок. Такие механизмы отличаются возможностью формирования необходимого (с точки зрения увеличения КПД) закона перемещения поршней (в том числе с различной величиной хода при сжатии и расширении рабочего тела), уравновешенностью, малыми габаритами и пр. Первые испытания ряда современных конструкций таких двигателей (Revetec, Rand Cam Engine, Aves, Южно-Уральский государственный университет и пр.) дали весьма обнадеживающие результаты.

В качестве основных причин, препятствующих практическому использованию таких двигателей, называют (зачастую априори) конструктивную и технологическую сложность; высокие значения контактных давлений в парах «кулачок – ролик», «поршень – ролик» и т.п.; значительные механические потери.

Показано, что эти обстоятельства с учетом современного состояния технологии проектирования и производства, материаловедения и пр. не являются непреодолимыми препятствиями к применению рассматриваемых двигателей.



Преобразующий механизм современного двигателя Dyna-Cam ( $S/D=95,25/82,55$  мм;  $V_h=6,11$  л;  $N_e=149$  кВт;  $n=1900$  мин<sup>-1</sup>; масса 153 кг): 1 – вал; 2 – кулачковая вращающаяся шайба с пространственным профилем; 3 – ролик; 4 – сдвоенные поршни

Рассмотрен алгоритм автоматизированного проектирования пространственного безударного кулачкового профиля на основе твердотельного моделирования. В результате решения методом конечных элементов задачи о напряженно-деформированном состоянии механизма в сборе с учетом контактного взаимодействия звеньев показано, что при современных уровнях форсирования контактные давления в указанных кинематических парах находятся на уровне таковых для деталей топливной аппаратуры. Расчет мгновенных значений КПД показал, что в рассматриваемых механизмах

потенциально достижимы относительно малые потери на трение, которые, возможно, могут быть уменьшены при применении перспективных антифрикционных материалов.

Сделан вывод о том, что представляется оправданным возобновление в ряде случаев практического интереса к таким механизмам.

**Саркисян Э.**

### **Моделирование наблюдателя крутящего момента с помощью искусственной нейронной сети**

Базовое управление ДВС со смешанным количественно-качественным регулированием крутящего момента двигателя может строиться только в координатах  $M_k$ - $n$  или как «моментное управление». При организации «моментного управления» необходимо на каждом режиме работы двигателя иметь информацию о величине  $M_k$ , однако прямое измерение величины  $M_k$  на автомобиле затруднительно, и для решения этой задачи обычно используются наблюдатели, которые строятся заранее по экспериментальным данным в виде матричных, полиномиальных, сеточных или других моделей.

Задача настоящего исследования заключалась в оценке возможности построения наблюдателя  $M_k$  на основе искусственной нейронной сети (ИНС). Преимущество такой модели заключается в том, что ИНС обладает способностью к самообучению, высокой скоростью выполнения расчетов и возможностью решения ряда сопутствующих задач, например распознавания и кластерного анализа.

Информация о режимных и управляющих факторах, по которым строится наблюдатель, должна содержаться непосредственно в бортовой МСУ.

На данном этапе исследования в качестве таких факторов были приняты:

- 1) угол опережения зажигания ( $\phi_{0.3}$ );
- 2) скорость вращения коленчатого вала ( $n$ );

3) расход топлива (Gт);

4) расход воздуха (Gв);

Для построения наблюдателя был использован большой массив экспериментальных данных (2715 точек), полученных при испытаниях двигателя ЗМЗ-405 на моторном стенде при установившихся режимах работы.

Конкретные задачи исследования заключались:

а) в выборе типа и структуры ИНС, необходимой для построения наблюдателя;

б) определении числа нейронов;

в) оценке необходимой длительности обучения модели;

г) оценке возможной точности решения задачи;

д) анализе возможности дальнейшего совершенствования технологии построения наблюдателя.

Для решения задачи весь массив опытных данных был разделен на обучающее множество (2670) и контрольное (45).

Исследование показало, что построение наблюдателя Мк на основе ИНС возможно. В данном случае для построения наблюдателя достаточно использовать ИНС прямого распространения с числом нейронов 15. Погрешность наблюдателя находится в пределах 3,33 Н м, что является допустимым. При дальнейшем совершенствовании технологии построения наблюдателя следует обратить внимание на возможность повышения точности наблюдателя и сокращение трудоемкости обучения за счет кластеризации режимов работы двигателя.

**Мягков Л.Л., Михайлов Ю.В.**

МГТУ им. Н.Э.Баумана

**Моделирование гидродинамики струи масла при взаимодействии с охлаждаемой поверхностью поршня**

Одним из основных ограничений степени возможного форсирования является тепловая напряжённость деталей, образующих камеру сгорания и определяющих надёжность и долговечность двигателя.

Важной задачей на этапе создания новых и модернизации существующих двигателей является достоверное прогнозирование температурных полей поршней. Решающую роль в оценке теплового состояния играет достоверность определения граничных условий теплообмена по поверхностям поршня.

Оптимальный температурный режим, достигаемый интенсификацией теплоотдачи от деталей камеры сгорания в охлаждающую среду, возможен при использовании принудительного масляного охлаждения поршня.

Охлаждение из форсунки, расположенной в картере, является наиболее простым в реализации способом и может быть применимо для поршней, без усложнения их конструкции.

В представленной работе рассматривается гидродинамика взаимодействия струи масла с охлаждаемой поверхностью поршня при струйном охлаждении форсункой, установленной в картере двигателя.

Для проверки адекватности исследования, результаты сопоставляются с результатами экспериментального исследования взаимодействия струи масла с тронком поршня.

Постановочная часть содержит анализ способов охлаждения поршня, математическую модель, описывающую гидродинамику струи масла, а также описание экспериментальной установки и критерии сравнения результатов расчета с экспериментом.

В результате моделирования получены анимационные ролики, визуализирующие взаимодействие струи масла с поршнем за рабочий ход, которые позволили получить представление о характере течения и свидетельствуют о срыве плёнки вблизи нижней мёртвой точки, при ускоренном движении поршня от нижней мертвой точки к верхней.

Уменьшение срыва плёнки масла с охлаждаемой поверхности возможно путем увеличения расхода. Масляный поток при характерных углах вблизи нижней мёртвой точки и после практически не срывается при увеличении расхода масла от 54 до 119 л/ч.

Результаты расчета сопоставлены с результатами скоростной фотосъемки, произведенной в эксперименте. Получено качественное совпадение этих результатов, что позволяет использовать разработанную методику для изучения и оптимизации струйного охлаждения поршня.

**Черняк Б.Я. Дунин А.Ю. Онищук Ф.С.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Нейронные сети** **в задачах моделирования индикаторного процесса ДВС**

Моделирование индикаторного процесса в ДВС достигло высокой степени совершенства и позволяет решать важнейшие задачи, связанные с исследованием и улучшением показателей двигателей. Вместе с этим введение новых методов управления рабочими процессами двигателей и широкое использование электронных систем управления требуют дальнейшего развития как математического аппарата, применяемого при моделировании ДВС, так и способов моделирования рабочих процессов. Так, например, введение управления расслоением горючей смеси и процессом сгорания, или использование многократного впрыскивания топлива в цикл требуют как понимания механизма их воздействия на работу и показатели двигателя, так и возможности оценки получаемых изменений индикаторных и эффективных показателей двигателя. С другой стороны, для успешного динамического управления двигателем эта информация должна использоваться в реальном масштабе времени. Обычные модели, применяемые при изучении рабочих процессов



двигателя, не обеспечивают необходимого для этого быстродействия.

В этом плане представляет интерес анализ возможности использования для этих целей искусственных нейронных сетей (ИНС).

ИНС как вычислительный инструмент обладает рядом важных свойств и, в частности, возможностью организации параллельных вычислений, что обеспечивает резкое повышение быстродействия.

Искусственный нейрон легко реализует во времени S - образную функцию весьма близкую к интегральной функции, соответствующей процессам впрыскивания топлива и его выгорания или процессу активного тепловыделения. Эту функцию, называемую функцией активации, можно задавать различным образом, в том числе и функциями, используемыми сегодня при моделировании процессов подачи топлива, сгорания и активного тепловыделения.

В случае применения ИНС из нескольких параллельных нейронов можно воспроизвести процессы смесеобразования и тепловыделения, характерные для двигателей с многократным впрыскиванием топлива в цикле или с управляемым процессом сгорания. При этом есть возможность использовать синоптические веса нейронов для оценки доли вводимого топлива или теплоты, выделяющейся при каждом впрыскивании. Использование более сложных структур ИНС позволяет вводить коррекцию в расчеты в зависимости от изменения внешних факторов или режима работы двигателя.

Как известно, индикаторный КПД цикла при прочих постоянных условиях однозначно связан с площадью под относительной кривой тепловыделения и с положением центра тяжести этой площади относительно ВМТ. Это позволяет учесть влияние управления моментом опережения зажигания или впрыскивания топлива, влияние динамики тепловыделения и других факторов, а также резко сократить объем расчетов при определении среднего индикаторного давления цикла, за счет отказа от численного интегрирования давления в координатах P-V.

Используя зависимость  $P_i = G_T N_u \xi_{\text{акт.мах}}(\eta_t - \Delta \eta_t) V_h$ , где  $\Delta \eta_t$  - снижение термического КПД цикла за счет длительности и несвоевременности выделения теплоты, а  $\xi_{\text{акт.мах}}$  - максимальное значение коэффициента активного тепловыделения в цикле, можно непосредственно перейти к средним показателям цикла, необходимым для построения модели работы или управления работой двигателя.

При необходимости можно добавить ИНС или таблицы для коррекции результатов расчетов с учетом изменения состава рабочего тела при изменении степени сжатия, состава топлива, коэффициента избытка воздуха и т.д. Для того, чтобы избежать чрезмерного увеличения времени счета, последнее может быть выполнено в первом приближении, по заранее просчитанным и аппроксимированным данным.

При использовании обычных компьютеров эта методика может быть реализована с помощью пакета MATLAB и системы Simulink с применением инструментального средства *Neural Network Toolbox*.

В случае управления переходными процессами в реальном времени скорость обмена данными между компьютером и СУ может оказаться недостаточной. Ускорить процесс управления возможно, запрограммировав ИНС непосредственно в бортовой СУ.

Наиболее полное использование ИНС станет доступным по мере внедрения в практику нейронных компьютеров.

**Сафронов П.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Влияние переменности инерционных характеристик силового агрегата на его колебания на подвеске**

Из механики известно, что установившиеся колебания любой механической системы могут вызваться либо воздействием внешней периодической силы, либо – периодическим изменением параметров колебательной системы. При рассмотрении колебаний си-

лового агрегата на подвеске все внимание уделяется анализу исключительно внешних сил, действующих на него. К числу внешних сил относят в основном силы инерции возвратно-поступательнодвигающихся деталей и центробежные силы от неуравновешенных вращающихся масс. Однако, рассматривая силовой агрегат на упругих опорах, как колебательную систему используют допущение о постоянстве параметров этой системы. На самом деле, ввиду подвижности масс элементов кривошипно-шатунного механизма, положение центра масс и момент инерции силового агрегата являются величинами переменными. Изменение этих параметров само может вызывать колебания, анализ которых возможен путем рассмотрения динамики основных подвижных элементов ДВС, составляющих его кинематическую структуру. Для проведения такого анализа были использованы уравнения Лагранжа второго рода в виде:

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) = Q_i$$

где  $q_i$  - обобщенное перемещение

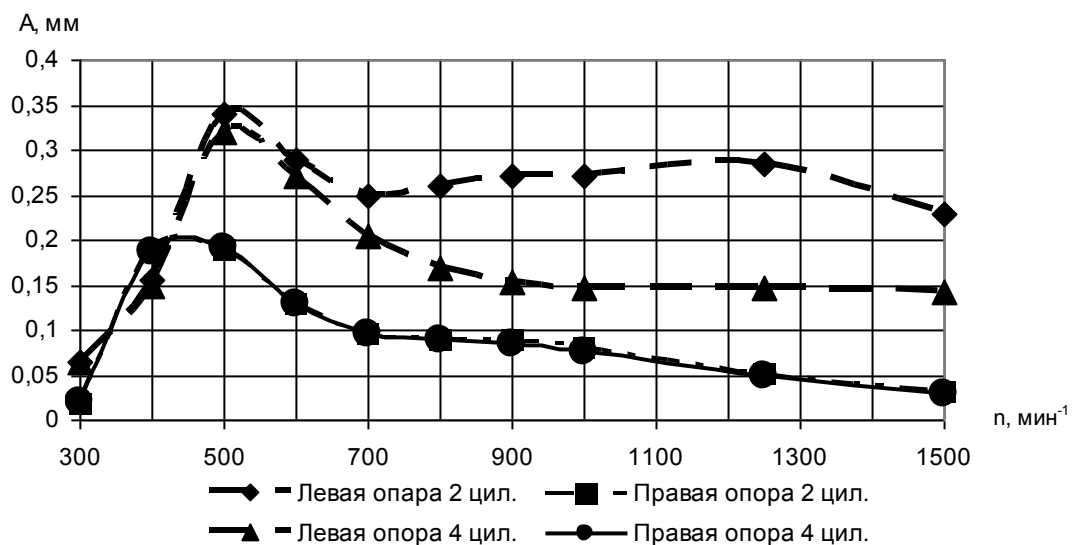
$L$  - функция Лагранжа,  $L=T-U$ , где  $T$  и  $U$  - соответственно потенциальная и кинетическая энергии системы.

$Q_i$  – обобщенная сила, соответствующая  $i$ -му обобщенному перемещению.

Учитывая, что анализу подвергается только влияние подвижности масс внутри ДВС, расчеты проводились для режима холостого хода (отсутствие момента от внешней нагрузки) и в предположении постоянства угловой скорости коленчатого вала.

Понятно, что величина изменения положения центра масс и момента инерции силового агрегата будет всецело зависеть от компоновочной схемы ДВС. Например, для четырех цилиндрового рядного двигателя положение центра масс при перемещении поршней изменяться не будет, а момент инерции относительно продольной оси двигателя изменяется. Для двух цилиндрового рядного двигате-

ля с одновременным движением поршней вверх и вниз будет изменяться как положение центра масс, так момент инерции. Для возможности сравнения колебаний, вызванных перемещением масс внутри корпуса, массово-инерционные характеристики динамических моделей ДВС различных компоновочных схем искусственно оставались неизменными. Например, при сравнении двух и четырёх цилиндровых моделей суммарная масса поршней считалась одинаковой. Для исключения влияния неуравновешенных сил инерции при изменении компоновки, силы инерции искусственно уравнивались приложением внешних сил к центрам масс элементов, создающих эти силы. Шатун представлялся реальным телом с распределенной массой, совершающим сложное, плоско-параллельное движение. Сравнительные результаты расчета амплитуд перемещений точки крепления одной из опор к корпусу силового агрегата для двух и четырех цилиндровых моделей представлены на рисунке.



АЧХ вертикального смещения точек крепления передних опор двух и четырех цилиндровых моделей двигателя.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что переменность инерционных параметров силового агрегата суще-

ственно влияет на амплитуды колебаний двигателя на подвеске (до 40% для двухцилиндровой модели.)

### **Секция «Экологические проблемы в АТК»**

**Трофименко Ю.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

#### **Развитие научной методологии обеспечения техносферной безопасности автотранспортного комплекса**

Цель – разработка теории, методов оценки и управления техногенным риском, связанным с транспортной деятельностью, для обеспечения безопасности автотранспортного комплекса (АТК) крупного города или региона в рамках природно-технической системы «АТК–ОС» на разных уровнях ее детализации: «транспортное средство – водитель – среда обитания»; «транспортный поток – участок дороги (инженерное сооружение) – окружающая природная среда»; «парк машин – сеть дорог – окружающая природная и социальная среда».

Коллективом кафедры «Техносферная безопасность» с привлечением специалистов других кафедр и организаций в период 2007-2008 гг. достигнуты следующие наиболее значимые результаты:

- разработана и изготовлена капсула тренажера для исследования влияния эксплуатационных (производственных) факторов на надежность водителей городских автобусов;
- разработаны конструкции и инженерные методики расчетов фотокаталитического очистителя воздуха и очистителя воздуха мокрого типа на базе интенсифицированных насадок регулярной структуры для обитаемых помещений объектов АТК;

- разработаны методики, и проведены экспериментальные оценки магнитных полей в обитаемых помещениях автобусов и троллейбусов, а также на улично-дорожной сети;
- научно обоснованы организационно-технические мероприятия по снижению до безопасного уровня загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, почв объектами АТК на территории Московской области в разрезе районных муниципальных образований;
- разработана концепция управления потоками отходов эксплуатации АТС на территории Москвы и Московской области, включающая вопросы размещения объектов региональной системы «Авторыциклинг», технологии перевозок отходов и характеристики используемого специализированного подвижного состава;
- разработаны методики, и выполнены оценки техногенной опасности транспортных потоков на УДС города, а также технологий использования и утилизации автомобильных шин;
- разработана оптимизационная модель оценки дорожно-транспортных и экологических ущербов при различных схемах размещения грузовых автотранспортных предприятий и транспортно-логистических комплексов на территории г. Москвы;
- разработана методика прогнозирования выбросов парниковых газов (ПГ) транспортными энергоустановками (ТЭУ) с учетом климатических изменений на территории России на период до 2030 года и комплекс мер по реализации управляемой траектории изменения объемов выбросов ПГ ТЭУ.

**Трофименко Ю.В., Григорьева Т.Ю.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

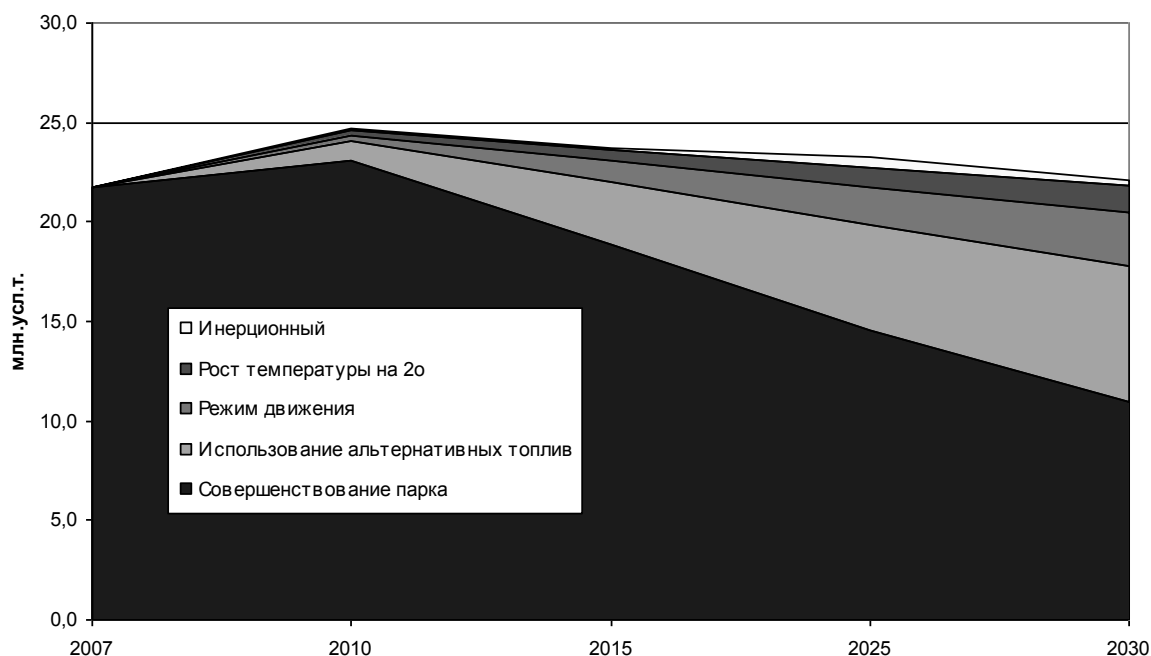
**Прогноз выбросов загрязняющих веществ автотранспортным комплексом на период до 2030 года**

На основании разработанных методик осуществлен прогноз энергопотребления, выбросов парниковых газов и других загрязняющих атмосферу веществ транспортными энергоустановками АТК с учетом климатических изменений на территории России на период до 2030 года и обоснован комплекс мер по их снижению до безопасного уровня.

При строительстве новых дорог и приведению существующих в нормативное технико-эксплуатационное состояние (ремонт), обеспечивающее увеличение коммерческой скорости доставки продукции в соответствии с целевыми установками Транспортной стратегии РФ до 2030 года, при совершенствовании структуры автомобильного парка по экологическому классу, расширении объемов использования альтернативных видов моторного топлива и источников энергии с учетом изменения среднегодовой температуры атмосферного воздуха в приземном слое на территории страны возможно обеспечить снижение выбросов ПГ в 2030 году до 114750 CO<sub>2</sub> Гг-экв./год, т.е. на 41% по сравнению с 2007 г., несмотря на рост численности парка АТК в 1,9 раза (58,5...67,7 млн. ед., в том числе 50...58 млн. ед. легковых АТК, 7...8 млн. ед. грузовых АТК и 1,5 млн. автобусов) и протяженности дорожной сети общего пользования с 724,5 до 1350 тыс. км.

При реализации *инновационного сценария* развития к 2015 году возможно переломить тренд роста выбросов ПГ АТК РФ и затем снизить их выброс в 2030 году до 114750 CO<sub>2</sub> Гг-экв./год, т.е. на 41% по сравнению с 2007 г., несмотря на рост численности парка АТК и протяженности дорожной сети общего пользования. Рост темпов дорожного строительства на начальном отрезке прогнозного периода в инновационном сценарии приведет к более интенсивному выделению ПГ, однако в последующие годы эффект роста коммерческой скорости доставки, другие меры позволят существенно снизить выбросы ПГ. При реализации *инерционного сценария* рост валовых выбросов ПГ продолжится во всем прогнозируемом периоде, достигнув в 2030 году величины, в 1,7 раза большей, чем в 2007 году.

На рисунке приведены результаты прогноза валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух АТК РФ на период до 2030 г. при использовании указанных выше мероприятий и учете климатического фактора.



Прогноз валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух АТК РФ при использовании разных мероприятий и учете климатического фактора, млн. усл. т/год

В 2007 году АТК РФ выбросил в атмосферу **21,7 млн. усл. т** загрязняющих веществ. При реализации *инерционного сценария* развития этого уровня в 2030 году достичь не удастся (превышение на 390 тыс. усл. т/год). При реализации *инновационного сценария* развития объем валовых выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами АТК снизится до 9,6 млн. усл. т/год, т.е. в 2 раза меньше, чем в 2007 г.

В таблице приведены результаты сравнения динамики целевого показателя, приведенного в Транспортной стратегии РФ до 2030 года и полученного в результате выполненной работы.



Следует, что установленное в Транспортной стратегии значение целевого показателя по валовым выбросам загрязняющих вредных веществ от АТК занижено и ничем не обосновано.

Динамика изменения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух АТК, проценты

Наименование	Сценарий	2007	2010	2015	2020	2030
Транспортная стратегия РФ	Инновационный	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>80</b>	<b>60</b>
Оценки МАДИ (ГТУ)	Инерционный	100	114	109	107	97
Оценки МАДИ (ГТУ)	Инновационный	<b>100</b>	<b>102</b>	<b>76</b>	<b>67</b>	<b>45</b>

По нашим оценкам, при реализации указанных выше мер выйти на уровень 40% снижения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с 2007 годом можно уже в 2017-2018 гг., даже при учете выбросов, связанных с интенсивным дорожным строительством и ремонтом дорог.

Расчеты показали, что уровень экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами двигателей АТК в 2030 г. может быть снижен в 10 раз по сравнению с 2007 г. (до 204 млн. руб./год).

**Трофименко Ю.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Оценка экологической безопасности автотранспортного комплекса Московской области на период до 2020 года**

Бурный рост автомобилизации на территории Московского региона (прирост численности парка АТС Московской области в 2007 г.

составил 12%), высокие темпы экономического развития стали причиной интенсивного роста негативного воздействия на окружающую среду объектов АТК и создания неблагоприятных условий для проживания населения, деградации экосистем на прилегающих к автомобильным дорогам территориях.

В докладе приводятся результаты обоснования организационно-технических мер по снижению до безопасного уровня загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, почв объектами АТК.

Проведен сбор и анализ большого объема статистической информации, выполнены натурные наблюдения характеристик транспортных потоков, уровня загрязнения ими атмосферного воздуха, поверхностного стока и объемы образования отходов на федеральных, территориальных и местных дорогах Московской области. Выполнены прогнозные оценки объемов загрязнения воздуха, воды, почвы движущимися транспортными потоками, объектами транспортной инфраструктуры в отдельных муниципальных образованиях Московской области на период до 2020 г. по двум сценариям развития АТК и при введении различных мероприятий по повышению его экологической безопасности.

Оценка *загрязнения атмосферного воздуха* проводилась по методике COPERT - IV (12 компонентам автомобильных выбросов, включая ненормируемые). Учитывались выбросы автомобильным парком Московской области и транзитными АТС, доля которых в транспортном потоке составляет 55%. С использованием оригинальной расчетно-экспериментальной методики произведена оценка *загрязнения поверхностного стока* с федеральных и местных дорог Московской области (в разрезе муниципальных районов), загрязняющего водные объекты нефтепродуктами, взвешенными частицами, хлоридами, этиленгликолем, азотом нитратным, азотом нитритным, фосфором. Впервые в качестве источников загрязнения стока рассмотрены твердые бытовые (нефтьсодержащие) отходы и отходы жизнедеятельности участников движения, генерируемые в полосе отвода дорог. Установлено, что там ежегодно образуется

1,4 тыс. т нефтьсодержащих отходов и 3,9 млн. м<sup>3</sup> отходов жизнедеятельности участников движения.

Уровень негативного воздействия АТК на окружающую среду (удельные объемы образования жидких и твердых отходов эксплуатации АТС, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух и водные объекты на единицу площади территории) неравномерно распределяется по территории Московской области. Выделено 14 районов с высоким и повышенным уровнем экологической нагрузки, территориально примыкающих к г. Москве, для которых в первую очередь надо внедрять средозащитные мероприятия.

Комплекс таких мероприятий обоснован на основании использования специально разработанной методики. Критерием для обоснования мероприятий принят экологический ущерб, а в качестве целевой функции - *выход на траекторию экологически обоснованного развития АТК*, предусматривающую за счет внедрения мероприятий снижение экологического ущерба по сравнению с 2006 г. на 25% в 2010 г., на 50% в 2015 г., на 75% в 2020 г.

Установлено, что даже при росте численности автомобильного парка Московской области в 1,6 раза к 2020 г. по сравнению с 2006 г. можно выйти на траекторию экологически безопасного развития АТК при одновременной реализации следующих мероприятий:

- обновление парка экологически более предпочтительными АТС: наличие к 2020 г. в составе парка АТС, отвечающих экологическим нормам Евро-1 – 3%, Евро-2 - 16%, Евро-3 – 30%, Евро-4 – 36% и Евро-5 – 15%;
- поставка в регион традиционного моторного топлива, удовлетворяющего требованиям ЕВРО-3...5, со сниженным содержанием серы, бензола, ароматических и олефиновых углеводородов;
- рост протяженности и повышение технико-эксплуатационных свойств дорог, позволяющих сохранить средние скорости транспортных потоков на дорогах Московской области на уровне 2006 г.;

- расширение объемов использования альтернативных видов моторного топлива и источников энергии (доля в парке АТС на природном газе: грузовых – 15%, автобусов – 5%, легковых АТС с комбинированными энергоустановками – 20%);

- сооружение и ввод в эксплуатацию 325 локальных очистных сооружений на федеральной сети и 887 сооружений на местной дорожной сети (на подходах к мостам и путепроводам). Экологический ущерб водной среде от отсутствия на подъездах к мостам и путепроводам *локальных очистных сооружений* и от их неграмотной эксплуатации составляет 7,5 млрд. руб. ежегодно;

- размещение 212 общественных туалетов на федеральной дорожной сети, прежде всего на площадках отдыха, организация их обслуживания;

- увеличение доли использования на автотранспорте биоразлагаемых смазок с 20 до 85%;

- снижение утечек эксплуатационных материалов за счет разгерметизации агрегатов, узлов, систем транспортных средств с 1,5 до 1,15% от расхода топлива;

- снижение объемов образования ТБО в полосе отвода дорог на 80%, числа стихийных моек транспортных средств за счет усиления пропаганды и агитации среди владельцев транспортных средств.

К сожалению, негативное воздействие АТК на окружающую среду не ограничивается загрязнением воздуха и водных объектов. Возрастет актуальность таких экологических проблем, как дефицит площадей территории для движения, стоянки, хранения АТС в городах Подмосковья, повышенный уровень транспортного шума, вибраций, электромагнитных полей, ландшафтные нарушения. Эти вопросы должны найти отражение в ОЦП «Экология Подмосковья» на период до 2012 года.

**Я.Б. Данилевич**

Институт химии силикатов РАН, академик РАН, г.Санкт-Петербург

**В.Н. Денисов**

НИЦ экологической безопасности РАН, г.Санкт-Петербург

**Системные решения проблем экологической безопасности**  
**автотранспортного комплекса как путь улучшения**  
**экологической ситуации в мегаполисах**

В нашей стране остается актуальным вопрос загрязнения окружающей среды объектами АТК. Проблему повышения экологической безопасности одного из важнейших элементов АТК – автомобилей – целесообразно с учетом ее сложности решать разными способами и в нескольких направлениях.

В условиях мегаполиса решением указанной проблемы является создание и внедрение электромобилей в индивидуальный транспорт, а также переход на более эффективное топливо в большегрузном транспорте.

В настоящее время электромобиль прорабатывается в двух базовых вариантах: с использованием супераккумуляторов и на основе топливных элементов.

Топливные элементы нового типа предполагается использовать на базе нанокompозитов, обладающих высокой протонной проводимостью в среднем температурном диапазоне (до 1000°C). Из нанокompозитов в виде пластин собраны пакеты, каждый из которых рассчитан на суммарное напряжение ~ 400 В постоянного тока. Пакеты объединяются во внутреннюю систему электромобиля, которая обеспечивает питание мотор-колес машины. Мощность электромобиля ~ 200 кВт в кузове «Волги», срок его выпуска ~ 2 года после получения финансирования, стоимость опытного образца ~ 2 млн. руб., необходимое финансирование ~ 10 млн. руб.

Вместо топливных элементов прорабатывается возможность применения высокоэнергоемких литиевых аккумуляторов нового типа с необслуживаемым твердым гелиевым электролитом. Параметры и показатели обоих возможных типов электромобилей по нашим проработкам будут примерно одинаковыми, выбор типа определяется пожеланиями (пристрастием) возможного заказчика.

Для тяжелогрузных автотранспортных средств (фургонов) нами предлагается переустройство двигателей на работу с водородно-бензиновой или водородно-газовой смесью. Такую смесь наиболее эффективно использовать в соотношении 1:9. Разумеется, наиболее целесообразное содержание смеси будет для каждого типа автотранспортных средств другим и будет выбираться на основе исследований. По нашим данным, при оптимальном (подбранном) содержании снижаются не только выбросы в окружающую среду, но и соответственно повышаются параметры эффективности работы автомобильного двигателя.

Для реализации широкомасштабных программ перевода транспорта на водородную энергетику необходимо также решить ряд общих системных проблем. К числу таких проблем, прежде всего, относятся проблемы снабжения водородом, включая его получение, хранение, транспортировку и заправку. Метод получения водорода электролизом воды окажется эффективным и экономически оправданным в случае использования для этой цели недогруженных атомных электростанций.

Кроме проблем создания более эффективного автотранспорта важным направлением остается работа на федеральном и региональном уровнях, в том числе:

- модернизация системы автотранспортной инфраструктуры: развитие улично-дорожной сети в городах; строительство объездных дорог, мостов, многоуровневых развязок и т.д.

- создание системы управления отходами АТК: тонколистового металлолома; изношенных автомобильных шин; отработанных масел; пластиков, цветных металлов и других материалов.

**Донченко В.В., Кунин Ю.И., Сазонова Г.М.**

Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта  
(ОАО «НИИАТ»)

**Шелмаков С.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Гитарский М.Л., Гинзбург В.А.**

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

**Выброс климатических газов от автотранспортного комплекса:  
проблемы оценки и ограничения объемов**

Автотранспортный комплекс (АТК) относится к категории ключевых источников парниковых газов (ПГ), оцениваемых в соответствии с обязательствами Российской Федерации по Киотскому протоколу и Рамочной конвенцией ООН об изменении климата. Его вклад в выбросы углекислого газа от сжигания топлива на транспорте составляет более 80% (без учета трубопроводного транспорта). Эмиссия от автотранспорта рассматривается в составе обобщенной категории «Транспорт», которая входит в сектор «Энергетика».

В зависимости от исходных данных и важности категории источников для итоговых национальных показателей выбросов расчет выбросов ПГ может производиться с использованием одной из трех альтернативных методик: расчет по количеству сожженного топлива без разделения на классы автомобилей и с рекомендованными Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) удельными выбросами ПГ (уровень 1), расчет по количеству сожженного топлива с разбиением на классы автомобилей и использованием национальных значений удельных выбросов (уро-

вень 2), расчет по средним эксплуатационным пробегам с разбиением на классы автомобилей и с использованием национальных значений удельных выбросов (уровень 3).

В кадастре РФ с 1990 по 2007 гг. оценка выбросов парниковых газов от автотранспорта проводится в соответствии с уровнем 1-й методики МГЭИК на основе данных топливно-энергетического баланса РФ, составленного по отраслевому принципу. Это вносит ряд неточностей в расчет. Например, невозможно выделить долю топлива, используемого в качестве моторного из общего количества проданного населению топлива. Кроме того, согласно Руководству РКИК ООН FCCC/CP/2002/8 для ключевых источников должны использоваться более сложные и точные методы расчетной оценки выбросов, соответствующие 2-му или 3-му уровням методологии МГЭИК. Поэтому для уточнения результатов, полученных по уровню 1, была проведена оценка выбросов ПГ автотранспортным комплексом РФ в 2007 г. в соответствии с уровнем 3, который формализуется следующим образом:

$$M^{III} = \sum_{a,b,c,d} (L_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d} \quad (1)$$

где  $M^{III}$  - годовая масса выброса ПГ и сопутствующих им веществ (кг),  $EF_{a,b,c,d}$  - коэффициент выбросов ПГ (кг/км),  $L_{a,b,c,d}$  - среднегодовой пробег автотранспортного средства (км),  $C_{a,b,c,d}$  - выбросы в фазе разогрева двигателя (кг), а - вид топлива, b - вид АТС, с - экологический класс АТС, d - условия эксплуатации.

Расчет проводился с использованием разработанной в ОАО «НИИАТ» в 2006 г. «Расчетной инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух». Основным преимуществом расчета выбросов ПГ по разработанной методике является возможность уточненной оценки выбросов ПГ от автомобильного транспорта посредством дифференцированной оценки выбросов ПГ по типам, группам АТС, видам используемого топлива и учета условий эксплуатации АТС. Расчетная оценка выбросов  $CO_2$ , по методу



уровня 3 составила 130,4 млн. т., что на 18% превышает выбросы CO<sub>2</sub>, полученные по методу уровня 1 (количеству сожженного топлива). Это может объясняться наличием на топливном рынке значительного объема неучтенного топлива. В результате анализа государственной и ведомственной системы статистического наблюдения был разработан пакет предложений по совершенствованию сбора и представления статистической информации, необходимой для расчета по методу уровня 3.

Ограничение и снижение выбросов ПГ от автотранспортного комплекса является актуальной задачей транспортной политики, которая должна быть интегрирована в общую стратегию устойчивого развития общества. Предлагаемый комплекс мероприятий, направленных на ограничение выбросов парниковых газов от АТК, включает в себя: управление спросом на автотранспортные услуги, поддержание технического состояния подвижного состава на надлежащем уровне, стимулирование разработки и внедрения новых энергосберегающих и экологически чистых технологий на автомобильном транспорте, формирование оптимальной структуры автопарка за счёт управления процессами его пополнения и выбытия, оптимальную организацию перевозочного процесса. Более детально рассмотрены мероприятия в сфере нормирования выбросов парниковых газов новых АТС, организации обучения водителей методам экономичного вождения, замещения на автомобильном транспорте традиционных источников энергии на возобновляемые.

**Денисов В.Н.**

Санкт-Петербургский НИЦ экологической безопасности РАН

**Дорожно-транспортный комплекс Санкт-Петербурга: экологические проблемы, пути и опыт их решения**

При неуклонном росте автотранспортного парка г. Санкт-Петербурга и, как следствие, увеличении техногенной нагрузки на городскую среду, критерием комфортности и безопасности среды обитания горожан следует считать их соответствие нормативным показателям, обеспечивающим не только полноту предоставления услуг в сфере социально-бытового и инженерного благоустройства, номенклатуру малых архитектурных форм, но и требуемые санитарно-гигиенические и экологические условия.

Вместе с тем медиками доказано, что благодаря «экологическому прессингу» со стороны объектов автотранспортного комплекса (АТК) продолжительность жизни среднестатистического жителя крупного города России сокращается на 4-5 лет, что для г. Санкт-Петербурга эквивалентно ежегодному уменьшению численности населения на 8 тыс. человек. Эксперты прогнозируют к 2020 году в г. Санкт-Петербурге при сохранении выявленной тенденции в суммарном загрязнении атмосферного воздуха увеличение заболеваемости по различным нозологиям от 20 до 400% (новообразований – в 2 раза, болезней крови – в 3 раза).

Важнейшее значение при оценке качества городской среды имеет загрязненность атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами. Этот вид загрязняющих веществ в США и странах Евросоюза считается приоритетным. Речь идет о взвешенных в атмосферном воздухе частицах диаметром менее 10 мкм (называемых обычно РМ-10) и особенно менее 2,5 мкм (РМ-2,5). Такие мелкие частицы весьма негативно влияют на здоровье людей.

Исследование влияния твердых мелкодисперсных частиц давно и плодотворно проводится за рубежом, хотя в городах России эта проблема стоит значительно острее, нежели в странах Европы и США. По данным зарубежных специалистов, наиболее существенными источниками поступления РМ-частиц в атмосферный воздух являются:

- пыление при производстве строительных работ (особенно при перемещении грунтов и других сыпучих материалов, в том числе при дорожном строительстве) – 43%;
- износ дорожного покрытия – 32,9%;
- эрозия почвенного покрова, точечные промышленные источники и др. – 24,1%.

Меры по контролю за РМ-частицами, нормированию их содержания в воздухе, уменьшению их эмиссии должны широко осуществляться и в Российской Федерации. Необходимо форсировать создание отечественной нормативной базы для данного типа загрязняющих веществ. Отставание от стран Евросоюза в этом вопросе уже составляет 15-20 лет. Антигололедные материалы в городах РФ, применяемые службами по содержанию автодорог в зимний период года, не современны, способствуют резкому увеличению запыленности в примагистральных зонах.

Следует отметить, что во всех крупнейших городах Европы, начиная с 90-х годов XX века, осуществляется мониторинг загрязнения атмосферного воздуха именно мелкодисперсным аэрозолем как приоритетным и наиболее опасным для населения видом загрязняющих веществ. Причем информация о состоянии воздуха, как правило, доступна через Internet и обновляется в текущем режиме времени. Так, например, в г. Лондоне имеется 16 станций наблюдения за микрочастицами на крупнейших городских магистралях.

С учетом вышеизложенного возникают несколько вопросов, связанных с обоснованием управляющих воздействий по повышению качества атмосферного воздуха, как законодательного, так и организационного характера. Во-первых, в российском законодательстве должен появиться закон об использовании шипованных зимних автомобильных шин, поскольку использование шипованной резины не только усиливает эффект «сбрасывания» дорожной одежды, повышает износ дорожного покрытия в 5-8 раз, но и способствует загрязнению как примагистральной территории, так и приземного

слоя атмосферного воздуха мелкодисперсным аэрозолем, содержащим соединения таких тяжелых металлов, как кадмий, цинк, медь. Вторым вопросом, касающимся обоснованности применения песчано-соляной смеси как антигололедного материала, используемого в г. Санкт-Петербурге и в других крупнейших городах России, необходимо адресовать профильным подразделениям исполнительной региональной власти, исходя из интересов защиты здоровья горожан.

**Ворожнин В.С., Давыдов В.Б., Маркелов Ю.И.**

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург

### **Оценка территориальных выбросов от автомагистралей на примере г. Екатеринбурга**

Автомагистрали являются источником загрязнения окружающей среды оксидами азота и серы, оксидом углерода, углеводородами, соединениями свинца и др. Рекомендуемые к использованию методики оценки величины выбросов от автомагистралей опираются на данные о пробеговых выбросах загрязняющих веществ для различных групп автотранспортных средств. При этом считается, что величина пробеговых выбросов зависит, в первую очередь, от конструкции транспортного средства (типа двигателя, его мощности, грузоподъемности транспортного средства и т.п.). В первом приближении в них может быть учтен режим работы двигателя и сезон года. Интенсивность движения транспортных средств различных типов по рассматриваемому участку автомагистрали обычно определяется экспериментально.

Но пробеговые выбросы зависят не только от перечисленных факторов, но и от степени износа (пробега, возраста, технического состояния), режима движения (способа вождения, нагрузки на двигатель), внешних условий (природно-климатических факторов, состояния дорожного покрытия). Эти факторы различаются для автомаги-

стралей, расположенных в разных регионах. Вследствие этого количественная оценка величины выбросов, сделанная с использованием существующих методик, может сильно отличаться. Оценить реальные выбросы для конкретного участка автомагистрали возможно с помощью прямых натурных измерений с помощью бортовых измерительных приборов и методами дистанционного зондирования.

В данной работе на основе натурального обследования автотранспортных потоков на двух участках автомагистралей г. Екатеринбурга оценена степень влияния региональных особенностей на величины выбросов от автомагистралей.

При постановке задачи предполагалось, что не учитываемые должным образом в методиках факторы (техническое состояние автомобильного парка территории, уровень используемой грузоподъемности, тип и качество используемого топлива) можно учесть с помощью проведения измерений вблизи автомагистралей.

Для обследований были выбраны типичные перегоны без застройки с придорожной растительностью и без таковой. На придорожной территории проводились замеры концентраций СО с помощью газоанализатора Палладий 3. Одновременно с измерениями концентраций проводилась оценка структуры, интенсивности и скоростного режима автотранспортного потока. Дополнительно измерялись метеорологические параметры: скорость и направление ветра, температура, влажность, давление.

Для установленной экспериментально структуры потока с помощью методики рассчитывались значения выбросов. На основе этих значений вычислялись значения средних за 20-минутный интервал приземных концентраций СО в точках измерения. Полученные значения сравнивались с непосредственно измеренными. С помощью корректировки величин табличных пробеговых выбросов добивались наилучшего соответствия теоретических и расчетных значений приземных концентраций одновременно во всех точках измерения.

Сопоставление результатов по полученным данным позволило оценить степень учета территориальных факторов расчетной методикой оценки выброса.

**Грищук Ю.В.**

Северо-Восточный государственный университет (г. Магадан)

**К вопросу о влиянии автотранспортного комплекса г. Магадана на экологическое состояние территории города**

Решение проблем, связанных с влиянием автотранспортного комплекса на окружающую среду урбанизированных территорий, остается актуальным. По данным Колымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Магаданской области, качество атмосферного воздуха в областном центре – г. Магадане, с численностью населения 107 тыс. чел., где практически отсутствует промышленная индустрия, ежегодно ухудшается. При этом наблюдается устойчивый рост загрязнения атмосферного воздуха оксидами азота, оксидом углерода, фенолом, формальдегидом. Так, среднегодовые приземные концентрации в атмосферном воздухе г. Магадана, превышающие предельно допустимые нормы в 2007 г., составляли: фенол – 2,0 ПДК; формальдегид – 6 ПДК; бенз(а)пирен – 4 ПДК.

Главной причиной ухудшения качества атмосферного воздуха в г. Магадане являются легковые автомобили, находящиеся в эксплуатации от 3 до 10 лет. Вклад вредных веществ, содержащихся в отработавших газах легковых автомобилей, составляет более 75% общего объема атмосферного загрязнения. Сложные геоэкологические условия территории препятствуют процессам естественного рассеяния выбросов в атмосфере: в холодное время года, при от-

сутствии или слабом ветре наблюдаются термические инверсии, включающие вертикальное перемещение воздуха за счет разности температур. Резко возрастает содержание токсичных веществ в атмосфере отдельных районов города, например, бенз(а)пирена в 6 раз. Кроме выбросов загрязняющих веществ АТК производит сильное шумовое загрязнение, вызывающее изменения в центральной нервной системе, что негативно сказывается на психосоматическом здоровье людей.

Негативное влияние техногенных и природных факторов среды обитания во многом определяет низкий уровень состояния популяционного здоровья населения города. Отсутствие оперативной информации о загрязнении среды вводит в заблуждение жителей г. Магадана, считающих, что они проживают в экологически чистой местности, и, как результат, – отсутствие ответственности у населения города за улучшение состояния городской окружающей среды.

Назрела необходимость объективной оценки воздействия АТК на окружающую среду г. Магадана с учетом геоэкологических условий территории, а также установления и обоснования допустимых границ данного воздействия. Это позволит оперативно решать задачи по оптимизации процесса функционирования АТК с точки зрения минимизации его негативного влияния на экологическую обстановку муниципального образования и здоровье населения.

**Донченко В.В., Мехоношин В.В., Казьмин Д.М.**

Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта  
(ОАО «НИИАТ»)

**Оценка эксплуатационных и энергоэкологических показателей работы транспорта на основе компьютерного моделирования (на примере р-на Тушино г. Москвы)**

Рассматриваются методика и возможности компьютерного моделирования для оптимизации работы транспортной системы, в том

числе для снижения нагрузки на улично-дорожную сеть (УДС), сокращения расхода топлива и выбросов загрязняющих веществ.

Компьютерное моделирование является эффективным инструментом при разработке комплекса управляющих мероприятий для развития транспортной системы.

Процесс моделирования состоит из нескольких основных этапов. Прежде всего определяется транспортный спрос, т.е. потребность жителей территории в поездках, предприятий и организаций в перевозках. Далее осуществляется моделирование выбора вида транспорта, времени и маршрута поездки. В результате определяются матрицы корреспонденции между зонами и объемы транспортных потоков на участках УДС. В ходе моделирования определяются характеристики транспортных потоков (скорость, плотность, интенсивность) на каждом участке УДС, масса выбросов загрязняющих веществ, затраты времени и расход топлива участниками движения. Поскольку выбор вида транспорта, времени выезда и маршрута зависит от ситуации на дорогах, процесс моделирования является итерационным, данные о времени проезда участков УДС, полученные при предыдущем повторении процедуры, используются для уточнения данных, применяемых при моделировании выбора способа передвижения.

Осуществлено моделирование функционирования улично-дорожной сети района Тушино г. Москвы. Построена модель УДС района и прилегающих к нему дорог, включая Ленинградское шоссе с основными развязками и дороги, оказывающие существенное влияние на режим движения по моделируемым развязкам. При моделировании дорожного движения действия каждого водителя раскладываются на элементарные операции – следование за лидером, перестроение, проезд перекрестков и т.д. Выбросы загрязняющих веществ оцениваются с помощью эмпирических зависимостей массы выбросов от скорости, ускорения и условий движения автомобиля. Использование современного программного обеспечения позволяет



достичь достаточной степени точности и адекватно воспроизвести поведение водителей в условиях перегруженной УДС.

При моделировании дорожного движения были воспроизведены наиболее проблемные участки УДС (перекресток МКАД и ул. Свободы, на пересечении Свободы с Волоколамским шоссе, на пересечении Волоколамского шоссе с МКАД). Предложены меры по усовершенствованию конфигурации УДС. В частности, исследованы последствия строительства третьего уровня на пересечении Волоколамского шоссе и МКАД, обеспечивающего возможность бесконфликтного съезда с внутренней стороны МКАД на Волоколамское и Пятницкое шоссе, а также эффекты от увеличения связности УДС – строительства Нового Куркинского шоссе до МКАД и моста, соединяющего ул. Беломорскую с ул. Фомичевой. Было показано, что в результате сокращается на 6...10% средняя дальность поездки между транспортными зонами, снижается на 20% среднее время поездки, масса выбросов загрязняющих веществ (прежде всего - продуктов неполного сгорания) и расход топлива.

**Ахметьев Д.А., Еремин В.М., Сарбаев В.И.**

Московский государственный индустриальный университет

### **Имитационное моделирование выбросов вредных веществ автотранспортными потоками на УДС городов**

На выброс вредных веществ автотранспортными средствами (АТС) влияют многие факторы, главными из которых являются режимы движения АТС (разгон, замедление, движение с постоянной скоростью, холостой ход). Причем интенсивность выбросов вредных веществ имеет явно выраженную нелинейную зависимость от ускорения и скорости движения. Известно, что в существующих ныне условиях высокой интенсивности движения нестационарные режимы движения АТС на УДС городов составляют подавляющую долю как по времени, так и по пройденному пути. Поэтому для повышения

точности оценки выбросов каждым отдельным АТС в составе потока (а, следовательно, и потоком в целом) желательно подробно определять его режим движения вдоль исследуемого участка. Для решения этой задачи разработаны методы, базирующиеся на компьютерной имитации функционирования системы «водитель - автомобиль - дорога - окружающая среда» (ВАДС). Особенность данного подхода заключается в подробной имитации режима движения каждого АТС, являющегося составным элементом транспортного потока.

Варьируемыми факторами в разработанных имитационных моделях являются следующие:

1) дорожные факторы (геометрические параметры продольного и поперечного профиля дороги, тип пересечения дорог, геометрические характеристики пересечения и др.);

2) схема организации дорожного движения (наличие различных дорожных знаков, дорожной разметки, светофоров и др.);

3) параметры транспортного потока (интенсивность и состав движения);

4) характеристики отдельных автомобилей в составе транспортного потока (тип и марка автомобиля, параметры двигателя и трансмиссии, габаритные параметры и др.);

5) характеристики водителей (тип водителя - осторожный, нормальный, агрессивный, время реакции водителя, желаемая скорость и др.).

В настоящее время сложилась следующая практика оценки выбросов вредных веществ транспортными потоками в городах. Исследуемая УДС города или некоторый ее фрагмент разбивается на элементы двух типов: узлы (различные типы перекрестков и примыканий), которые считаются точечными источниками генерации вредных веществ, и перегоны (улицы и магистрали), которые считаются линейными источниками генерации вредных веществ. Такое разбиение оправдано, с одной стороны, достаточной точностью данного приближения, а с другой стороны, удобством использования моде-

лей распространения вредных веществ в приземном слое атмосферы. Единицами измерения вредных выбросов для узлов является кг/час, для перегонов – кг/час км.

Постановка компьютерных экспериментов с описанными имитационными моделями для оценки выбросов вредных веществ транспортными потоками заключается в следующем. Исследуемая УДС разбивается на элементы описанных двух типов. Затем для каждого элемента проводятся имитационные эксперименты по пропуску транспортных потоков. Для этого на входах рассматриваемого элемента генерируются входные сигналы (вновь появляющиеся АТС), интенсивность появления и вид которых соответствуют интенсивности движения и составу транспортного потока на каждом входе. Эти характеристики, а также геометрия элемента и схема организации движения на нем определяют режимы движения по нему каждого отдельного ТС в составе транспортного потока (скорость, ускорение, номер передачи и т.д.).

Каждому режиму движения АТС с учетом его типа соответствует определенный режим работы его двигателя, интенсивность расхода топлива и выбросов вредных веществ. Компьютерная модель отслеживает для каждого АТС длительность его нахождения в том или ином режиме движения и моменты перехода с одного режима на другой. Эти данные суммируются по всем типам АТС, находившимся на исследуемом элементе в течение определенного периода (длительность имитационного эксперимента). Затем вычисляются удельные выбросы вредных веществ транспортными потоками на данном элементе.

Данный подход успешно применялся для оценки и прогнозов выбросов вредных веществ транспортными потоками для некоторых подсетей УДС г. Москвы. Его использование с соответствующими дополнениями и изменениями (обновление исходных данных о выбросах вредных веществ АТС разных типов и с разными ЭУ, совершенствование некоторых модулей имитационных моделей движения автомобилей и др.) представляется перспективным для прове-

дения прогнозов и оценки влияния тех или иных мероприятий, связанных с перераспределением транспортных потоков, на изменение экологической обстановки в городах.

**Васильев А.В., Алексеева Н.А., Воробьева О.В., Шишкин В.А.**

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

### **Новая система мониторинга транспортного шума**

Транспортный шум – актуальная проблема современности. При оценке транспортного шума важным этапом является проведение долгосрочного мониторинга. Использование результатов измерений, выполненных в течение лишь одного дня, приводит к появлению постоянной погрешности, связанной с нетипичностью атмосферных условий и состояния земного покрова. Величина такой погрешности может составлять до 10 дБ. Однодневные результаты измерений не соотнесены с одним источником шума и содержат погрешности других неисследуемых источников. Большую проблему при неавтоматизированном сборе данных представляет обеспечение качества входных данных, так как именно от них во многом зависит точность конечного результата.

Разработана система мониторинга шума, генерируемого стационарными и передвижными энергетическими машинами и установками. Принципиальное отличие от ранее используемых в России методов состоит в том, что измерения производятся системой самостоятельно, без постоянного присутствия оператора вблизи измерительной техники. Полученные данные передаются с использованием GPRS-связи в сети Интернет. Интернет используется как канал передачи данных, место хранения данных, система отображения данных и обработанной информации – динамических карт, графиче-

ков, спектрограмм т.д. Данные доступны в режиме реального времени на страницах созданного сайта.

Система позволяет выполнять автоматизированную круглосуточную регистрацию данных, обеспечивая сбор результатов измерений уровней шума и других соответствующих параметров окружающей среды, а также производить измерения в полевых условиях в отсутствие оператора. Непрерывный (24 часа в сутки и 365 дней в году) мониторинг уровней шума обеспечивает постоянный контроль за соответствием уровней шума окружающей среды установленным ограничениям.

В состав системы мониторинга уровня шума входят:

- одна или несколько станций мониторинга - шумомер с всепогодным микрофоном, система электропитания и маршрутизатор;
- центральный модуль (устройство анализа и хранения данных);
- канал передачи данных (GPRS/ADSL и Internet).

С помощью шумомера измеряется широкий спектр акустических параметров, включая текущие уровни  $L_{экв}$  (дБА) и  $L_n$ , и выявляются шумовые события. Посредством сети Интернет станции системы непрерывного мониторинга соединены с центральным модулем, в котором осуществляется хранение и анализ полученных данных.

Внутри станции мониторинга, основной частью которой является шумомер «Solo» фирмы 01dB, снабженный внешним микрофоном, также находится система электропитания и специально спроектированный маршрутизатор, который обеспечивает настройку шумомера и спроектирован для того, чтобы обеспечивать в реальном времени сбор данных от шумомера «Solo» и отправку их в центральный сервер по выбранному каналу передачи.

Результаты измерений, накапливаемые и временно хранящиеся в памяти станции мониторинга, периодически сбрасываются в центральный сервер для обработки и длительного хранения. Маршрутизатор внутри станции мониторинга служит также для оптимиза-

ции передачи данных (а именно: сжатия данных, управления потоками данных и т.д.) и предотвращает потери данных из-за сбоев сети GPRS.

Все станции мониторинга постоянно синхронизируются с помощью NTP сервера, и благодаря этому возможно осуществлять сравнение данных, полученных с разных станций, установленных в одном районе. Опционально могут собираться и передаваться в центральный сервер и другие параметры, такие как положение GPS, метеоусловия или плотность потока.

Описанная система может использоваться для акустических исследований, информирования жителей, подверженных воздействию шума. Благодаря способности системы к осуществлению детального долгосрочного мониторинга в отсутствие оператора (а именно: не нужно скачивать информацию, сохранять ее, составлять отчеты и т.д.), возможно увеличить эффективность мероприятий по исследованию шумовых загрязнений. Детализированные данные позволяют идентифицировать различные виды источников шума и шумовых событий для того, чтобы достичь лучшего понимания исследуемой акустической среды. Преимущества такой системы еще и в доступности данных исследований в реальном времени из любой точки, где есть Интернет, а также в визуализации результатов измерений. Система апробируется в условиях Самарской области.

**Галевко Ю.В., Иванова Т.В., Елесин А.Н., Попов Ю.Н.**

НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»

**Щепкин А.И.**

ФГУП «НАМИ»

**Гусаков Н.В., Пехов А.Ю.**

САТР-Фонд

**Изменение к ГОСТ Р 51616-2000 «Автомобильные и транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний»**

В РФ существуют Санитарные нормы по уровням шума на рабочих местах, в которых также имеются предельно допустимые уровни для рабочих мест водителей транспорта, идентичные ГОСТ 12.1.003-83. Эти предельные значения на порядки жестче, чем нормы, указанные в ГОСТ Р 51616. Допустимые уровни, установленные СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (ГОСТ 12.1.003.-83) в 60 дБ(А) для легковых автомобилей и 70 дБ(А) для грузовых в режиме интенсивного разгона, недостижимы практически для всех автотранспортных средств, движущихся по дорогам Российской Федерации и за рубежом. Отсутствие стандартизованных методов испытаний в санитарных нормах и стандартах "Системы стандартов безопасности труда" приводит к неоднозначности толкования результатов оценки вводимых этими нормативными документами нормируемых показателей и невозможности проводить сравнительные испытания.

Развитие автомобильной техники, а также существующие требования ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 к методам измерения непостоянных шумов определило необходимость внесения корректив в ГОСТ Р 51616-2000. Изменения разработаны в инициативном порядке НИЦИАМТ ФГУП НАМИ, ФГУП НАМИ, САТР-Фондом. ГОСТ Р 51616 частично гармонизирован с международным стандартом ИСО 5128 и Сводной резолюцией о конструкции ТС, являющейся неотъемлемой частью Женевского Соглашения 1958 года, участницей которого является Российская Федерация.

В России ГОСТ 27435, затем ГОСТ Р 51616 более десяти лет используются в качестве обязательных в национальной системе сертификации транспортных средств и распространяются практически на все категории транспортных средств.

ГОСТ Р 51616 предусматривает определение максимальных уровней звука, воздействующих на водителя/пассажира в процессе движения транспортного средства. Внутренний шум измеряется при интенсивном разгоне автотранспортного средства на наиболее высокой передаче, при которой максимальная скорость в конце разго-

на, соответствующая  $0,9n_{\text{ном}}$ , не превышает 120 км/ч, а также на постоянных скоростях на высшей передаче. Допустимые уровни в ГОСТ Р 51616 приняты по результатам испытаний, и их можно трактовать как максимально допустимые. По назначению они являются техническими нормами, которые устанавливаются с учетом назначения ТС, технических характеристик ТС, а также технически достижимых возможностей снижения шума ТС. Санитарные нормы зависят в основном от условий труда.

Предлагаемые допустимые уровни основаны на статистических данных, полученных из обработки результатов испытаний более чем 800 объектов различных категорий, а также с учетом того, что нормирование должно отражать новейшие достижения в автомобилестроении и быть инструментом для конкурентной борьбы.

Основные задачи, решаемые в процессе введения Изменения № 1 к ГОСТ Р 51616, следующие:

- внесение изменений и дополнений с учетом требований к сертификации АТС по внутреннему шуму в связи с развитием автомобильной техники;
- актуализация нормативной базы, используемой в ГОСТ Р 51616;
- ужесточение допустимых уровней и ступенчатость сроков их применения;
- введение новых классификаций транспортных средств спортивного типа и разработка подхода к нормированию их допустимых уровней;
- введение метода испытаний на неподвижном транспортном средстве для возможности контроля внутреннего шума в эксплуатации и соответствия стандартам ИСО 5128 и ГОСТ 27435;
- изменение режима испытаний для АТС, имеющих двигатель с частотой вращения коленчатого вала, соответствующей максимальной мощности более  $6000 \text{ мин}^{-1}$ ;



- уточнение режима испытаний для ТС с автоматической КП, имеющей возможность принудительного выбора передачи;
- незначительные изменения методики испытаний в плане уточнений и дополнений, а также внесение редакционных правок.

**Лелюхин А.М., Авенариус И.А.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Копытенко Ю.А., Птицына Н.Г.**

Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН

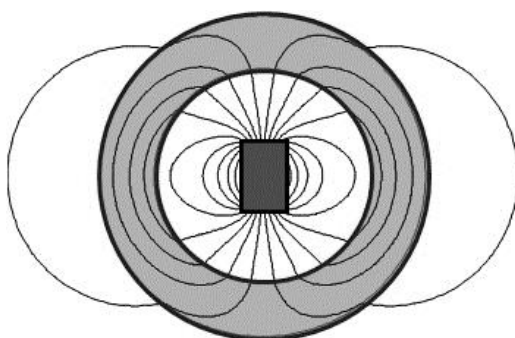
### **Пути снижения техногенной составляющей магнитного поля в троллейбусе**

Известно, что магнитные поля (МП) от электротранспорта могут вызывать изменения в состоянии здоровья водителей и их детей. Проведенные исследования МП в троллейбусах позволили выявить характеристики такого поля.

Магнитное поле в троллейбусе характеризуется сложной комбинацией постоянной и переменной составляющих, наличием нерегулярных колебаний и скачков в широком диапазоне частот. При этом более 80% мощности спектра приходится на ультранизкочастотный (УНЧ) диапазон 10...15 Гц. Значение напряженности МП в процессе движения троллейбуса по маршруту меняется в диапазоне от 0 до сотен мкТл. Наибольшие скачки поля наблюдаются в кабине водителя рядом с его головой. Здесь их значения достигают 200 мкТл. В пассажирском салоне скачки МП меньше, причем максимальные амплитуды могут регистрироваться в разных компонентах (вертикальной или горизонтальной) в зависимости от расположения токовых источников – двигателя, компрессора, нагревателей воздуха в системе воздухообмена.

Снижение амплитуды таких колебаний МП возможно двумя основными способами: компенсация и экранирование. Компенсация требует применения активного оборудования, подключенного к штатной электрической сети троллейбуса. Установка такого устройства в кабине водителя невозможна ввиду ограниченного пространства. Кроме того, серьезное вмешательство в электрооборудование в условиях эксплуатации требует согласования с заводом-изготовителем.

Физический принцип экранирования локального источника МП заключается в замыкании линий магнитной индукции (рисунок).



Принцип экранирования источника МП

До недавнего времени использовались экраны на основе кристаллических пермаллоевых сплавов. Такие материалы эффективно снижают напряженность МП, но теряют свои свойства при механических воздействиях – монтаже и вибрации. Это делает невозможным использование таких экранов на транспортных средствах. В настоящее время в НПО «Прометей» созданы магнитные экраны из аморфных магнитомягких сплавов на основе железа и кобальта. Эти экраны не теряют своих магнитных свойств при механическом воздействии.

В СПбФ ИЗМИРАН были проведены исследования снижения смоделированного транспортного МП. Моделировалось типичное для ускорений и торможений электротранспорта поле в виде импульсов прямоугольной формы различной длительности с амплитудами 50 и 250 мкТл. Импульсное МП создавалось с помощью колец

Гельмгольца. Измерения проводились магнитометром GI-MTS-1. Датчик магнитометра помещался внутрь цилиндра из трех слоев экрана на основе аморфного магнитомягкого высококобальтового сплава системы Co-Fe-Ni-Si-B. В таблице можно видеть подавление МП внутри экрана при импульсах различной амплитуды и продолжительности.

Данный экран позволяет снизить более сильные поля в 5-8 раз, что должно быть достаточно для создания в кабине водителя троллейбуса благоприятной электромагнитной обстановки.

Импульс в кольцах Гельмгольца		Трехслойный экран	
В, мкТл	Длительность, сек	Подавление внутри экрана, раз	
1.	-50	10	3,84
2.	+50	3	2,24
3.	+50	2	2,27
4.	-50	6	2,27
5.	-246,879	8	4,84
6.	+246,879	4	6,67
7.	+246,879	4	8,23
8.	+246,879	2	7,96

**Фридман В.С.**

Биологический факультет МГУ

### **Метод количественной оценки автотранспортного воздействия на фауну и население птиц: создание и апробация**

Сеть автодорог оказывает разнородное и разноуровневое воздействие на население птиц придорожных массивов. В общем комплексном воздействии автодорог существенны такие компоненты, как барьерный эффект дорог на орнитофауну разделённых ими «островных» массивов, экотоксическое воздействие загрязнений, связанных с автодорогами, негативное воздействие шума на гнездящихся птиц и пр.

На локальном уровне мы имеем дело с воздействием отдельных автотрасс на конкретных особей, загнездившихся в краевой зоне придорожного массива, или на птиц, кочующих в придорожной полосе. На уровне всей территории мы имеем дело с совокупным воздействием автотранспортной сети как целого на местные популяции разных видов, составляющих фауну данной территории, природного ландшафта выдела или региона.

Здесь автодорожная сеть выступает как мощный фактор антропогенной фрагментации местообитаний, воздействие которого превращает подразделённую популяцию вида в метапопуляцию – систему, территориальные элементы которой (поселения, демы) изолированы и «заперты» в «осколках» фрагментированных местообитаний. Такое «дробление» популяционных группировок, в норме связанных потоками нерезидентных особей в единое целое, чаще всего негативно влияет на жизнеспособность видовых популяций в возникающем «островном» ландшафте - увеличивает риск вымирания вида на «архипелаге», созданном антропогенной фрагментацией из-за «островного» и «барьерного эффектов» (Hanski, 1999).

Отсутствует методика оценки воздействия автодорог на фауны и население птиц краевых местообитаний, которая удовлетворяла бы известным требованиям *ecology impact assesment*. Это воспроизводимость результатов, количественная оценка влияния воздействия на отклик и соответствие "правилу 10%" - приращение на 10% воздействия (измеренного по соответствующей методике) должно давать 10%-ное приращение отклика, по которому оценивают это воздействие (Ханбеков, Дарховский, 1990; Кавтарадзе, Фридман и др., 2002, 2003; Friedmann et al., 2004).

Отсутствуют методы, позволяющие получать количественные оценки этого вида воздействия, т.е. позволяющие отвечать на вопросы типа:

А) действительно ли численность вида X в краевой зоне снижена или повышена по сравнению с «ядром» того же массива именно в силу воздействия автодорог;

Б) если да, то какова сила влияния фактора на отклик (определённой интенсивности воздействия автодорог на (+) или (-) сдвиги численности/плотности населения вида в краевой зоне массива по сравнению с «ядром»), насколько влияние воздействия автодорог сравнимо с другими факторами, влияющими на численность вида на данной территории, в первую очередь разные типы местообитаний.

Задачи А-Б решаются при применении техники дисперсионного анализа, где исследуемый фактор имеет разные градации интенсивности транспортного воздействия, отклик – разные уровни численности вида в опыте (краевая зона) по сравнению с контрольным местообитанием. Когда влияние фактора на отклик уже установлено, мы вводили в анализ другие факторы, также влияющие на численность разных видов птиц, в первую очередь разницу местообитаний, чтобы сравнить их силу влияния между собой.

Следующий шаг для оценки воздействия – это выбор контроля, полосы местообитаний в аналогичных массивах, также занимающих пограничное положение, но в отличие от краевых зон не испытывающих воздействие автодорог. Иными словами, при оценке воздействия автодорог на вид X сравниваются плотности населения вида Y1 в краевых зонах автодорог с интенсивностью движения АТС X1, X2..., Xi с плотностью населения видов в опушечных местообитаниях той же местности, иногда на других «сторонах» тех же самых лесных (луговых) островов, только обращённых не к дороге, а к лугу (полю, просеке ЛЭП, лесу), в полосах аналогичной ширины.

В докладе излагается методика оценки воздействия автодорог на авифауну природных территорий и результаты апробации метода на ООПТ Вологодской и Московской областей.

Для оценки воспроизводимости результатов, полученных с помощью данного метода, исследовано воздействие автодорог на фауну и население птиц:

а) в августе 2004 г. в национальном парке "Русский Север" на тех же трассах, что и в 2001 г.,

б) в июне-июле 2005...2007 гг. - на территории Мытищинского района Московской области, для однотипных местообитаний.

Объектами воздействия в Московской и Вологодской областях были на 95% те же виды птиц, что обеспечивает сравнимость результатов.

**Ставров О.А.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Современное состояние и перспективы применения спиртовых топлив**

Ввиду универсальности спроса на энергию потребление энергоносителей и продуктов их переработки во всем мире и отдельных странах, несмотря на энергичные меры по энергосбережению, постоянно растет. Так, за период с 1975 года первичное потребление энергии в мире возросло почти в два раза. Абсолютный рост потребления энергии сопровождался качественным изменением структуры потребляемых топливно-энергетических ресурсов, в числе которых рассматриваются и возобновляемые источники энергии. К ним относятся: солнечная энергия, ветровая энергия, энергия рек и водоемов, геотермальная энергия, приливная энергия и биомасса.

Для автомобильного транспорта существующие технологии на основе возобновляемых источников энергии позволяют получать топлива из биомассы, в первую очередь, в виде спиртов.

Наиболее известен опыт применения в автомобильных ДВС этилового спирта. Практическое применение он находит в виде добавок к бензину (табл. 1), а в Бразилии даже в виде самостоятельного топлива.

Таблица 1

Нормы добавок этилового спирта в бензин в разных странах

Страны	Нормы
США	Обязательные 5% в течение 2 лет, 10% в последующие

	2 года
Евросоюз	Обязательные от 2% до 10% в 2020 году
Китай	Обязательные 10% в некоторых провинциях
Индия	Обязательные до 2% в некоторых штатах
Австралия	Обязательные 1%

Почти из 50 млн. т произведенного в мире в 2006 г. этилового спирта более 75% было использовано как автомобильное топливо или его компонент. Основными производителями являются США – 40% - и Бразилия – 38%, а потребителями - США (47%), Бразилия (27%) и Европа (21%). Сегодня 99% этилового спирта вырабатывается из пищевого сырья (сахарный тростник, зерно, кукуруза). Дальнейшее существенное увеличение производства этилового спирта из пищевого сырья отсутствует. Очевидно, что использование этого спирта в России как топлива тоже представляется неперспективным.

В нашей стране в качестве возможного топлива (скорее добавки) рассматривается другой спирт – метиловый, пищевое использование которого крайне опасно. Мировое производство метанола составляет почти 39 млн. т в год. Баланс потребления метанола приведен табл. 2.

Таблица 2

Баланс мирового потребления метанола

Потребление в целом и по отдельным продуктам	Млн.т/год	%%
Всего	38	100,00
Топливо	2,88	7,58
Метилметакрилат и диметилтерефталат	2,30	6,06
Уксусная кислота	3,45	9,09
Метилтретбутиловый эфир (МТВЕ) и этилтретбутиловый эфир (ЕТВЕ)	4,61	12,12
Формальдегид	16,12	42,42
Прочее	8,64	22,73

В настоящее время метанол производится путем переработки нефти, газа и угля, поэтому его нельзя рассматривать как возобновляемый источник энергии.

В последнее время в мире быстро растет интерес к бутиловым спиртам, которые в качестве автомобильного топлива обладают рядом преимуществ перед другими спиртами. Бутанол производится из нефти, хотя ранее (20-30-е годы XX века) он получался из биомассы. Биобутанол, производимый из биомассы, имеет абсолютно те же характеристики, что и бутанол, полученный из нефти. Бутанол используется, прежде всего, в качестве промышленного растворителя. Мировой рынок этого продукта оценивается в 1,1 млн. т в год, из которых почти 63% приходится на долю США. Интерес к биобутанолу в последние годы возрос благодаря успехам технологии его производства из биомассы. Биобутанол может заменить бензин в качестве топлива даже в большей степени, чем этанол, благодаря своим физическим свойствам, экономичности, безопасности, а также из-за того, что его использование не требует переделки двигателя автомобиля.

**Шелмаков С.В.**

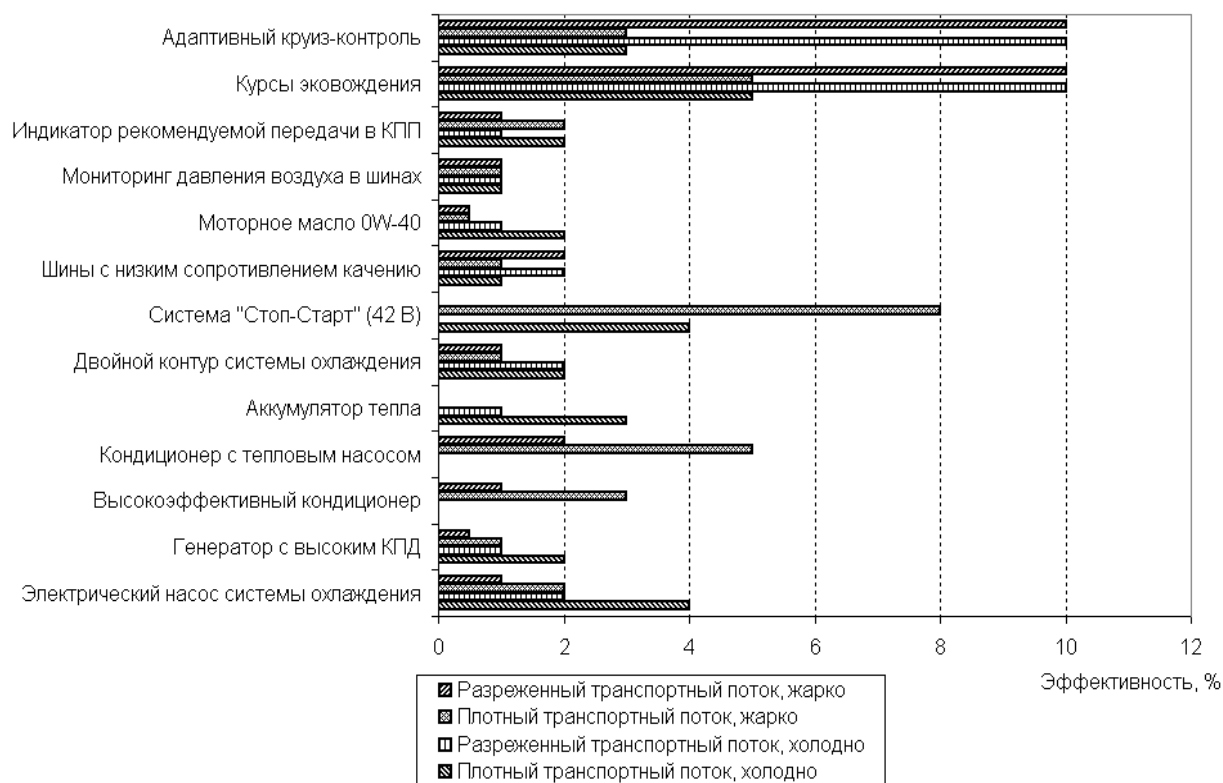
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Возможности повышения энергоэффективности автомобилей (обзор зарубежного опыта)**

Существует несоответствие между результатами измерения топливной экономичности при официальной сертификации автомобилей и действительной топливной экономичностью в реальной эксплуатации, так как некоторые из используемых технологий практически не влияют на результаты сертификационных испытаний, но довольно значительно влияют на действительный расход топлива автомобилей, а также обеспечивают социальный эффект (связанный с



экономией топлива) и низкую стоимость снижения выбросов парниковых газов (рисунок).



Эффективность некоторых технологий улучшения топливной экономичности автомобилей в четырёх специфических условиях эксплуатации [1]

Большинство технологий характеризуются низкой (1...5%) эффективностью. Исключение составляют три мероприятия:

- адаптивный круиз-контроль в разреженном транспортном потоке;
- эконождение в разреженном транспортном потоке;
- система «стоп/старт» при движении в плотном транспортном потоке.

Объединение технологий не означает суммирования эффекта энергоэффективности. Например, адаптивный круиз-контроль и эконождение взаимосвязаны и влияют на режим движения автомобиля. Хотя в среднем можно ожидать, что зимой в плотном транспортном потоке комбинация указанных технологий способна уменьшить рас-

ход топлива до 20%. В среднем за год экономия топлива может достигать 10%.

Для внедрения указанных технологий, во-первых, следует модернизировать испытательную процедуру для более адекватного учета реальных условий эксплуатации и стимулирования производителей с целью внедрения технологии. Во-вторых, потребителям должна быть доступна информация о выгодах применения технологий. В-третьих, могли бы быть введены фискальные инициативы, стимулирующие снижение расхода топлива автомобилями при низких температурах окружающего воздуха и/или низкой скорости транспортного потока. В-четвёртых, правительство могло бы заключить с производителями добровольные соглашения по внедрению эффективных с точки зрения общества технологий в определённых регионах. В-пятых, правительство могло бы осуществлять поддержку курсов по эковождению.

**Шелмаков С.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Донченко В.В., Кунин Ю.И.**

Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта  
(ОАО «НИИАТ»)

### **Перспективы и проблемы использования альтернативных топлив на автотранспорте**

В рамках работы по подготовке участия России в Международном транспортном форуме «Транспорт и энергия: вызов климатических изменений» (Лейпциг, 28-30 мая 2008 г.) был проведён анализ зарубежного и отечественного опыта в сфере использования альтернативных топлив для автотранспорта, разработаны рекомендации по формированию национальной стратегии в данной области.

Задача внедрения альтернативных топлив на автотранспорте носит комплексный, межсекторальный характер. Это связано с ши-

рокой номенклатурой видов альтернативных топлив: природный газ, пропан-бутановые смеси, диметиловый эфир, синтетические бензин и дизельное топливо, биогаз, биоэтанол и биодизельное топливо, водород, электричество.

В России отсутствует четкое понимание конечной цели внедрения альтернативных топлив в экономику страны, в том числе и в АТК. На международном уровне существующая модель развития энергетики признана «неустойчивой», которую должна заменить природная, «устойчивая» модель, базирующаяся на возобновляемых источниках энергии. Долгосрочную стратегию по этому поводу имеют правительства многих стран, частные компании (например, крупные автомобилестроительные концерны). Именно в рамках подготовки к реализации этой новой энергетической модели происходит поиск и внедрение альтернативных топлив, в том числе и на транспорте.

Конечными целями внедрения на рынок альтернативных топлив являются снижение антропогенного воздействия на биосферный углеродный цикл, снижение загрязнения окружающей среды, ресурсосбережение. Кроме того, при разработке программ расширения производства альтернативных топлив для автотранспорта необходимо обеспечить эффективность использования государственных ресурсов. Каким видам альтернативных топлив следует отдавать предпочтение, чтобы достичь указанных целей с наименьшими издержками? Представляется, что при разработке программ расширения использования альтернативных топлив необходимо ввести обязательное требование придерживаться методологии оценки полного жизненного цикла согласно стандартам ISO серии 14000. Чтобы методология оценки полного жизненного цикла стала эффективным инструментом, обеспечивающим адекватную информационную поддержку решений, принимаемых в области альтернативных топлив, необходимо инициировать этот процесс одновременно во всех секторах экономики, имеющих к этой сфере непосредственное отношение: ТЭК, агропроме, транспортном комплексе,

промышленности и т.п. По мере накопления результатов исследований отдельных этапов жизненного цикла альтернативных топлив можно будет «состыковывать» их в различной комбинации для оценки требуемых характеристик полного жизненного цикла какого-либо топлива. Крайне желательной является разработка единого формата данных, который было бы необходимо соблюдать при проведении исследований этапов и элементов жизненного цикла альтернативных топлив.

**Марсанов Ю.С.,**

Аппарат Вице-губернатора Санкт-Петербурга

**Денисов В.Н.**

Санкт-Петербургский НИЦ экологической безопасности РАН

**Макаров Ю.В.**

LPG Management, Москва

**Потенциал партнерства власти, бизнеса и научного  
сообщества ради повышения безопасности  
дорожно-транспортного комплекса городов РФ**

В настоящее время в неблагоприятных условиях, связанных с загрязнением окружающей среды автотранспортом, проживает большинство населения крупных и малых городов в 78 субъектах Российской Федерации, в том числе г. Санкт-Петербурге. Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха связано главным образом с функционированием автотранспортного комплекса (АТК) и является одной из причин повышенной заболеваемости жителей г. Санкт-Петербурга по сравнению со средним по стране уровнем. По официальным данным, в 2006 году доля выбросов, поступающих в атмосферу от транспортных средств, достигла в общем балансе загрязненности атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга и г. Москвы 81 и 93% соответственно.

В странах Евросоюза, США, Японии на протяжении последних трех-четырех десятилетий ведется комплексная работа в сфере повышения технического уровня автомобилей, качества топлив, а также по созданию рациональных схем организации движения, эффективной системы обращения с отходами автотранспортных средств, совершенствованию градостроительной политики, развитию экологически более безопасного общественного транспорта, принимаются государственные меры по воздействию на население и бизнес (в части их отношения к транспорту) посредством разработки и совершенствования нормативных и законодательных актов в сфере АТК.

В целях реализации Постановления Правительства Санкт-Петербурга от 25.12.2007 «Экологическая политика Санкт-Петербурга на период с 2008 по 2012 годы» и основываясь на решениях ряда международных научно-практических конференций, посвященных вопросам экологической безопасности российских мегаполисов, а также в связи с необходимостью принятия неотложных мер по улучшению экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации в г. Санкт-Петербурге, Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ) занимается разработкой региональной Программы по снижению техногенной нагрузки от объектов АТК на городскую среду и население г. Санкт-Петербурга (I этап – 2009-2012 гг., II этап – 2013-2017 гг., III этап – 2018-2025 гг.).

По мнению разработчиков проекта Программы, важнейшим условием для создания высокоэффективных технологий и разработок новых методологических подходов к решению экологических проблем АТК является развитие фундаментальных научных исследований. Приоритетные направления научно-исследовательских работ в области экологической безопасности связаны, прежде всего, с внедрением новейших технологий, технических средств и методик в различных областях АТК.

Важнейшими разделами проекта I этапа Программы (2009-2012 гг.) являются:

1) организация работы по совершенствованию регионального законодательства в сфере охраны окружающей среды, финансово-экономических механизмов стимулирования в области экологической безопасности автотранспортного комплекса;

2) внедрение в транспортных компаниях и на предприятиях г. Санкт-Петербурга систем экологического менеджмента и экологического аудита;

3) совершенствование нормативно-методической и технологической базы в сфере охраны окружающей среды при функционировании объектов АТК;

4) информационно-аналитическое и научное обеспечение реализации экологической политики, мониторинг экологической деятельности транспортных субъектов.

В настоящее время осуществляется формирование данной Программы, обсуждение отдельных ее разделов с потенциальными участниками и исполнителями программных работ и составление перечня конкретных мероприятий. Предполагается, что основу финансирования Программы составят частные инвестиции, а также бюджетные средства (в основном на НИОКР).

**Визовитин В.Н.**

Северо-Восточный государственный университет (г. Магадан)

**Персонал как активное звено снижения  
негативного воздействия транспортно-дорожного комплекса  
на окружающую среду**

Современные условия функционирования автотранспорта немислимы без осознания персоналом факта соизмеримости его возможностей с потенциальными возможностями природы. Однако природоохранные мероприятия в значительной части предприятий транспортно-дорожного комплекса (ТДК) остаются декларированными и в их реализацию средства практически не вкладываются.

Природоохранная деятельность рассматривается в плоскости решения вопросов по обстоятельствам, так как бытует мнение, что эти вопросы отвлекают от основной производственной деятельности.

Планированием и реализацией природоохранных мероприятий на предприятиях ТДК часто занимаются ИТР по совместительству с их прямыми должностными обязанностями. Эта работа ведется бессистемно и, естественно, не может дать ожидаемого эффекта.

Труд как важная составляющая преобразующей деятельности исполнителя является той составляющей, от которой зависит, с какими экологическими последствиями получен продукт труда. Поэтому навыки исполнителя, его нравственная позиция по отношению к вопросам защиты окружающей среды (ОС) определяют качественные и количественные характеристики последствий.

Исследование отношения персонала инженерно-технической службы (ИТС) к этой проблеме позволило выявить следующую картину. Экологическую проблему считают неактуальной и не заслуживающей внимания на современном этапе развития ТДК 63% респондентов категории “водители и ремонтники”. Только 21% представителей этой категории считают, что проблема загрязнения ОС заслуживает внимания, однако в то же время они подчеркивают, что это никому не нужно. Среди категории ИТР 46% считают, что экологическая проблема на современном этапе не остра.

Не считают возможным участвовать в снижении воздействия транспортной структуры на загрязнение ОС 34 и 58% исследуемых категорий персонала ИТС.

Значительная часть респондентов категории “водители и ремонтники” (98%) не считают себя важным элементом в решении экологических проблем. Среди ИТР только 15% считают, что экологические проблемы зависят от них, а 59% связывают проблемы загрязнения ОС с водителями и ремонтниками.

Выполненные исследования показывают, что проблема загрязнения ОС лежит не только в плоскости технологий и организационно-технологических решений, но и в отношении представите-

лей ИТС к вопросам взаимодействия структурных элементов ТДК с ОС.

Экология в большей степени представляет проблему нравственную, заложенную в сознание индивидуума, требует разработки комплекса мер, направленных на включение побудительных мотивов получения персоналом продукта труда с минимальным воздействием на среду обитания, повышение роли человеческого фактора.

### **Стендовые сообщения**

**Трофименко Ю.В., Комков В.И.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

#### **Транспортное обеспечение системы обращения с отходами автотранспортного комплекса в Московской области**

Для оценки влияния на окружающую среду отходов автотранспортного комплекса (АТК) – изношенных шин, отработанных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (ОСКАБ), отработанных масел, брошенных разукomплектованных транспортных средств (БРТС), антифризов – особую важность имеют вопросы их транспортировки.

Решение транспортно-логистической оптимизационной задачи перемещения отходов АТК осуществлялось на основании разработанной методики, предусматривающей оценку транспортной работы по перемещению сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции между элементами системы обращения с отходами АТК от мест их образования (транспортные и другие предприятия разных форм собственности, ГСК, селитебная, другая территория) до мест переработки, потребления готовой продукции (вторичных ресурсов) или захоронения отходов переработки.



На уровне отдельных муниципальных районов обеспечивается своевременный вывоз отходов АТК с первичных площадок у образователей отходов, а также на общественных территориях арендованными специализированными транспортными средствами на районные пункты сбора и подготовки отходов АТК к утилизации. При обосновании количества и месторасположения первичных пунктов сбора, площади обслуживаемой территории, а также численности подвижного состава осуществляющего перевозки на данном (нижнем) уровне иерархии системы обращения с отходами АТК, учитываются данные, полученные на основании обследования территории типичного по уровню автомобилизации и плотности населения муниципального района Московской области и информации контролирующих органов (ГИБДД, Ростехнадзор и др.), а также технологии перевозочного процесса (схемы маршрутизации) при реализации сборочной технологии движения транспортных средств. Для этого разработан специальный алгоритм и использована программа на ЭВМ, включающая в себя пакет маршрутизации на реальной дорожной сети. Установлено, что для ежедневного вывоза отходов АТК с 10374 первичных площадок сбора отходов (у отходообразователей) и с общественной территории на районные пункты сбора в целом по Московской области требуется 812 специализированных грузовых АТС грузоподъемностью до 3,5 т. При малой численности подвижного состава по вывозу отходов АТК нет необходимости создавать отдельный диспетчерский центр в каждом районе, а оперативное управление перевозками целесообразно осуществлять из районного диспетчерского центра, занимающегося организацией вывоза ТБО.

На плече перевозок от 36 районных пунктов сбора отходов АТК на межрайонные сборные пункты, специализированные перерабатывающие предприятия и полигоны, расположенные на территории Московской области, используются специализированные по видам отходов АТС большей грузоподъемности. Оперативное управление перевозками отходов АТК на межрайонном и областном

уровнях целесообразно вести из единого областного диспетчерского центра. При этом с использованием пакетов прикладных программ на транспортных предприятиях, занимающихся перемещением отходов, вторичных ресурсов составляются суточные планы-графики работы отдельных АТС, осуществляющих сборочные, маятниковые или смешанные маршруты на территории региона. С учетом принятых допущений для перевозки отходов АТК на этих уровнях иерархии системы требуется 117 специализированных грузовых АТС грузоподъемностью от 5 т и более.

Полученные результаты являются исходной базой для оценки экологической безопасности в сфере обращения с отходами, образующимися при эксплуатации автотранспортных средств в Московской области.

**Трофименко К.Ю.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Природноресурсная эффективность региональной системы** **«Авторециклинг»**

В связи со значительным ростом количества автомобилей становится очевидной актуальность проблемы переработки отходов автотранспортного комплекса (АТК). Для решения этой проблемы на территории Московской области в 2008 г. была проведена НИР на тему «Разработка концепции создания системы обращения вторичных ресурсов транспортного комплекса в производственной и бытовых сферах на территории Московской области на период до 2011 года».

В настоящее время управление материальными потоками, образующимися в сфере отходов АТК на территории региона, ориентировано на удаление отходов с подконтрольной территории без надлежащего контроля за дальнейшей переработкой этих отходов.

Для оценки доли сохранения природных ресурсов и возврата материалов был предложен относительный показатель природно-ресурсной эффективности региональной системы «Авторециклинга»:

$$ППЭ = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{11} (k_{\text{рец}_i} \times k_{\text{вес}_j}), \text{ балл} \quad (1)$$

где ***K*вес *j*** – весомость *j*-го вида отхода; ***K*рец *i*** – средневзвешенное значение по *i*-му уровню рециклируемости (*i*=4).

Параметр ***K*вес *j*** в формуле (1) рассчитывается по 4-м показателям:

- относительный объем образования отхода ***V*<sub>о</sub>**;
- ценность материала как природного ресурса ***ЦМПР*** (определяется экспертным путём);
- технологичность (по перерабатываемости) ***T*** (определяется экспертным путём);
- экологическая безопасность ***ЭБ*** (параметр, обратно пропорциональный относительному экологическому ущербу).

$$K_{\text{вес}_j} = V_{Oj} + \text{ЦМПР}_j + T_j + \text{ЭБ}_j \quad (2)$$

Расчёт ***K*рец** осуществляется по разработанной расчетно-экспериментальной методике в зависимости от дальнейшего использования отходов АТК для четырех уровней их рециклируемости:

1. Возврат вторичных ресурсов из отходов АТК в сферу производства или эксплуатации АТС (например, вторичные запчасти для автомобилей).

2. Переработка отходов АТК с получением материалов и продуктов, которые непосредственно не используются в АТК (металлические слитки и пр.), а направляются в другие сферы народного хозяйства.

3. Утилизация отходов АТК, в результате которой последние находят некое полезное применение, однако содержащиеся в них вторичные ресурсы в непосредственном виде не возвращаются в народное хозяйство (например, сжигание с получением энергии).

4. Уничтожение отходов АТК без получения какого-либо полезного продукта (захоронение на полигонах отходов и др.).

Субъекты региональной системы «Авторециклинга» обеспечивают реализацию данных функций.

Расчеты показали, что значение показателя природно-ресурсной эффективности системы обращения с отходами АТК Московской области составляет 11080 баллов. Но после внедрения мероприятий, заложенных в «Концепции», эффективность системы увеличится в 3,6 раза и составит 40000 баллов.

**Трофименко Ю.В., Шашина Е.В.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Автобусный тренажер для оценки надежности водителей**

Водитель как основное звено в системе «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» является наименее надежным её элементом, влияющим на безопасность транспортного процесса. Оценку влияния различных факторов на надежность водителей целесообразно осуществлять как на основании государственной статистической отчетности ГИБДД, так и при использовании имитационных математических моделей различной степени сложности, основанных на применении экспериментальных данных, полученных на реальных объектах и специализированных тренажерных комплексах.

В отличие от реальных объектов – АТС в составе транспортных потоков – тренажеры позволяют воспроизводить практически любые дорожные ситуации и условия движения, включая опасные (аварийные) и получать статистически достоверные зависимости

влияния различных факторов на надежность водителя более безопасно с меньшими затратами финансов и времени.

Тренажер должен обеспечивать решение следующих задач: ознакомление с органами управления, контрольно-измерительными приборами и устройствами АТС; формирование навыков управления и обучение вождению в соответствии с правилами дорожного движения; моделирование городских и загородных условий, различных климатических условий; объективную оценку профессиональной пригодности водителей; подготовку водителя к действиям в критических ситуациях и при отказах основных агрегатов автомобиля, влияющих на безопасность движения; самостоятельную подготовку обучаемого; проведение тестирования обучаемых с целью профессионального отбора; воспроизведение и анализ развития сложных проблемных и аварийных дорожных ситуаций; изучение влияния на надежность водителей дорожного окружения, условий труда на рабочем месте водителя (РМВ), в том числе использование технических решений, направленных на передачу части функций водителя автоматическим системам.

Анализ современного рынка тренажеров показал, что они не отвечают требованиям, обеспечивающим выполнение поставленных задач. Поэтому принято решение о создании собственного тренажерного стенда автобуса с учетом наработок, имеющихся в области тренажеростроения.

Тренажерный стенд представляет собой учебно-исследовательский комплекс, состоящий из капсулы-модуля водителя и пассажиров, модуля инструктора и систем психофизиологического контроля. Отличие разрабатываемого тренажерного комплекса от зарубежных аналогов заключается в компактности: капсула тренажера состоит из передней и задней частей автобуса ЛиАЗ-5256. Отличие от российских аналогов состоит в наличии пассажирского модуля, штатных светотехники, систем электрооборудования, вентиляции, открывания дверей, более полном моделировании до-

рожных условий (в частности, моделировании критических ситуаций).

Использование тренажера и системы психофизиологического контроля оператора позволит накапливать знания о возможностях восприятия водителем дорожной обстановки, которые являются основой для повышения безопасности дорожного движения, улучшения условий труда водителей.

**Графкина М.В., Фролова Т.В., Шехорданов П.В.**  
Московский государственный технический университет «МАМИ»

### **Исследование вибрации от транспортных потоков**

Вибрация оказывает негативное воздействие на человека и влияет на надежность зданий, что может привести к повреждениям или даже к аварийным разрушениям строительных конструкций. Источниками вибрации являются производственное оборудование, строительная техника, транспортные средства и др. Цель - исследовать уровень вибрации в зоне жилой застройки от наземных транспортных средств.

Измерения проводились в Восточном административном округе г. Москвы. Для оценки уровней транспортной вибрации была выбрана двухполосная дорога с односторонним движением, а также ее пересечение с четырехполосной дорогой, имеющей трамвайные линии посередине. Жилые дома располагаются на расстоянии 5 м от края проезжей части. Замеры уровней общей вибрации проводились в шести точках в непосредственной близости от жилых домов. На каждой точке замеры производились дважды: на асфальте и на грунте.

Измерения осуществлялись трехканальным виброметром общей и локальной вибрации «Октава 101ВМ». Измерялись среднеквадратичные уровни виброускорений в октавных полосах в диапазоне частот 1...125 Гц. На рис. 1 представлены результаты, полу-

ченные при измерении уровней вибрации на расстоянии 50 м от дороги во дворе жилого дома. На рис. 2 – уровни вибрации на перекрестке на расстоянии 2,5 м от дороги и 15 м от трамвайных путей.

Ввиду того, что отсутствуют нормативная документация, регламентирующая вибрацию на территории жилых застроек, для сравнения был выбран СанПиН N 2.1.2.1002-00, на основе которого была построена нормативная кривая (ДУ) с учетом допустимого превышения в дневное время. В соответствии с СанПиН N 2.1.2.1002-00 транспортные средства при движении создают вибрацию на средних частотах (~31,5 Гц), что соответствует данным. При движении трамваев был также отмечен скачок уровня вибрации на низких частотах (~1 Гц), что вероятнее всего является следствием ударов колес при прохождении стыков рельсов.

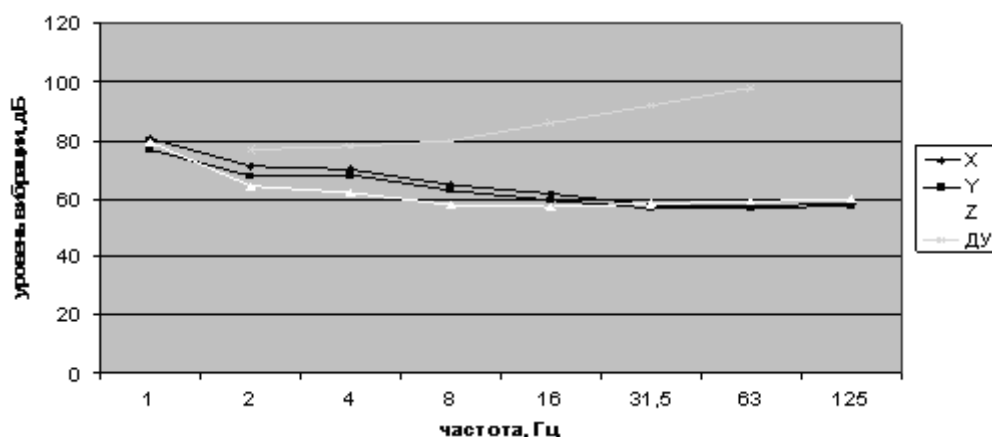


Рис. 1. Уровни вибрации на расстоянии 50 м от дороги

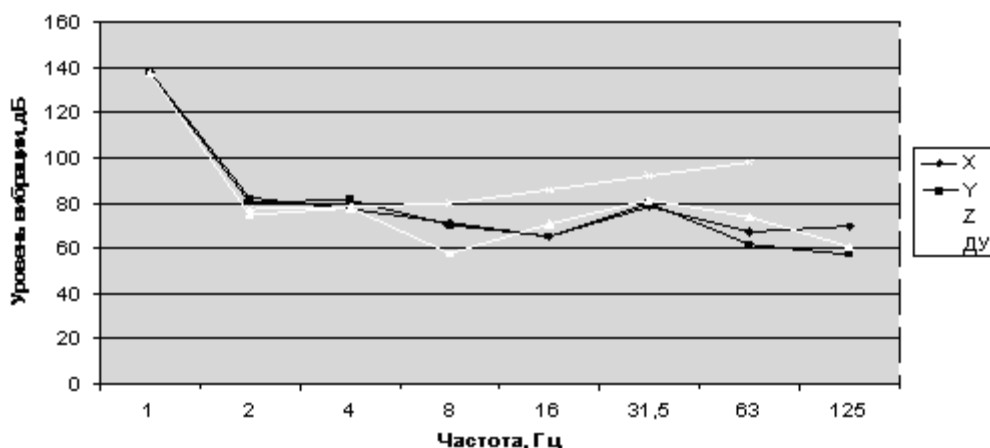


Рис. 2. Уровни вибрации на расстоянии 2,5 м от дороги (перекресток)

Необходимо разработать нормативную документацию, регламентирующую вибрацию на территории жилой застройки. Требуется проводить постоянный мониторинг вибрации от транспорта для установления связи между уровнем вибрации и типом энергонесущей среды.

**Графкина М.В., Асмолова Е.А., Свиридова Е.Ю.**  
Московский государственный технический университет «МАМИ»

### **Проблема шума, создаваемого автотранспортом в городе Москве**

В Москве 70% территории находится в зоне шумового дискомфорта, который может негативно воздействовать на здоровье жителей: вызывать заболевания слухового аппарата, нервной системы, нарушения режима сна. Одним из основных источников шума в городе является автотранспорт как по площади сверхнормативного воздействия, так и по величине создаваемых превышений допустимого уровня шума.

Были проведены исследования уровня шума в ВАО (район Соколиная гора). Измерения проводились на территории жилой застройки и на расстоянии от 0 до 15 м до проезжей части, в частотном диапазоне 1...16000 Гц с помощью шумомера, анализатора спектра SVAN-945. Установлено, что:

- максимальные и эквивалентные уровни шума на всех исследуемых территориях жилой застройки не превышают нормативных значений [2];
- уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63...8000 Гц на этих же территориях в некоторых точках превышают нормы (табл. 1);



- на территории изучаемой жилой застройки уровни инфразвука в октавных полосах также не соответствуют нормативным значениям (табл. 2).

Зависимость максимального  $L_{max}$  и эквивалентного  $L_{экв}$  уровней шума от расстояния до дороги приведена на рисунке.

Таблица 1

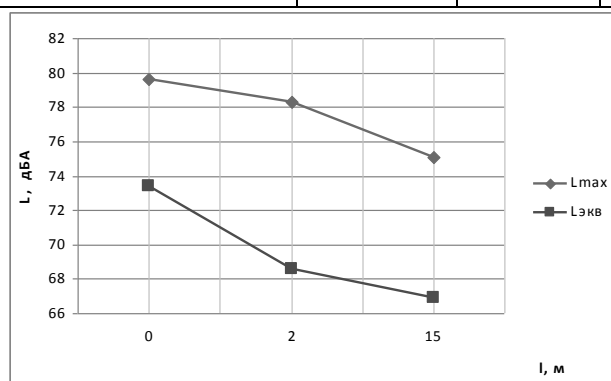
Уровни звукового давления в октавных полосах на территории жилой застройки

Уровень звука, дБ	Частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Семеновский пер., д.18	78	70	63	58	50	49	48	46
Нормативное значение	75	66	59	54	50	47	45	44

Таблица 2

Уровни инфразвука в октавных полосах на территории жилой застройки

Уровень звука, дБ	Частота, Гц			
	2	4	8	16
ул. Большая Семёновская, д.31/1	107	101	94	87
Нормативное значение	90	85	80	75



Зависимость максимального  $L_{max}$  и эквивалентного  $L_{экв}$  уровня шума от расстояния до дороги

Таким образом, в исследуемом районе наблюдается превышение уровней шума во всех частотных диапазонах. Для снижения шумового воздействия от автотранспорта можно предложить:

- разработку и реализацию мероприятий, имеющих шумопонижающий эффект, при создании программ и схем развития транспортных систем города;
- внедрение системы контроля соблюдения требований к внешнему уровню шума автомобилей при прохождении государственного технического осмотра транспортных средств;
- применение шумопонижающего дорожного покрытия при проведении строительства, реконструкции и капитального ремонта дорог в городе.

В г. Москве необходимо проводить постоянный мониторинг уровней шума на территориях больниц, детских садов, школ, жилой застройки.

**Толокин Л.И.**  
ФГУП «НАМИ»

### **Измерение шумовых характеристик машин и агрегатов в условиях испытательной станции завода**

В современных условиях для потребителя товара всё большее значение приобретает экологические параметры изделия и возможность его комфортного использования. Одним из таких параметров являются шумовые (акустические) характеристики продукции. Поэтому от производителя требуют точных и достоверных сведений о шуме, создаваемом таким изделием, что, в свою очередь, повышает требования методике измерения шумовых характеристик машин, агрегатов и т.д.

Для оценки звукового давления и звуковой мощности изделия испытания могут проводиться в помещении или вне его (свободном

звуковом поле). Проведение испытаний в помещении (даже неподготовленным специальным способом) имеет ряд преимуществ:

- возможность круглогодичных испытаний изделия;
- отсутствие ветра, осадков;
- стабильность температурного режима;
- стабильность фонового шума;
- упрощение технических условий испытаний (подведение энергоснабжения, воздуха и др.)

Исследование шума изделия в помещении подразумевает сознательное внесение поправок (коэффициентов) на акустические условия помещения, где проводятся испытания (звукопоглощение, отражение звуковых волн от стен и т.д.) и перед проведением измерения шумовых характеристик продукции необходимо оценить акустические условия испытательного помещения (выражаемые показателем акустических условий  $K_{2A}$ ).

Оценка акустических условий помещений может проводиться тремя методами: методом реверберации; при применении постороннего, образцового, например, всенаправленного источника шума; методом фактических поправок при оценке шума конкретной машины.

Метод реверберации. Значение показателя акустических условий  $K_{2A}$  зависит от коэффициента звукопоглощения исследуемого помещения  $A$  и измерительной площади  $S$ ,  $m^2$ , и может определяться по формуле:

$$K_{2A} = 10 \cdot \lg(1 + 4S/A), \text{ дБ} \quad (1)$$

В этом случае коэффициент звукопоглощения исследуемого помещения определяется реверберационным методом по формуле:

$$A = 0,16(V/T), \quad (2)$$

где  $V$  - объем исследуемого помещения,  $m^3$ ,  $T$  - время реверберации, сек.

Метод реверберации позволяет однозначно определить, можно ли проводить измерения шумовых характеристик продукции на

измерительном расстоянии  $d$  в данном помещении и какой метод можно применять для данного помещения и данного изделия. По ГОСТ Р 51401-99 (технический метод) коэффициент  $K_{2A}$  должен быть меньше 2 дБ, а по ГОСТ Р 51402-99 (ориентировочный метод) - меньше 7 дБ. Этого вполне достаточно для определения уровня звуковой мощности изделия. Однако метод реверберации не отвечает на вопрос о том, какую поправку на уровень шума нужно вносить при изменении расположения микрофона, например, от  $d=0,5$  м к  $d=1,0$  м (что необходимо для определения уровня звукового давления).

Применение всенаправленного источника звука позволяет сравнивать результаты измерений в свободном звуковом поле и на месте установки изделия в помещении и таким образом ввести поправку на уровень шума для каждого места, его расположения в помещении, используя посторонний источник звука.

Применение метода всенаправленного источника позволяет узнать, какую поправку на уровень шума нужно вносить при изменении расположения микрофона от  $d = 0,5$  м к  $d = 1,0$  м.

Метод фактических поправок позволяет непосредственно сравнивать результаты измерений каждой конкретной модели изделия в свободном звуковом поле и на испытательном стенде и ввести необходимую поправку на уровень шума для каждого стенда, расположенного в испытательной станции. Для данного метода используется объект испытаний, устанавливаемый последовательно вне помещения (свободное звуковое поле) и на каждом испытательном стенде в помещении.

**Интенсификация флотационной очистки сточных вод,  
содержащих гидрофобные загрязнения**

Для повышения эффективности флотационной очистки сточных вод, содержащих различные гидрофобные загрязнения и взвешенные частицы, используется ряд приемов, а именно, добавление в очищаемые стоки реагентов, модернизация конструкции флотомашин с установкой дополнительных элементов и т.д.

Наиболее перспективным методом определения основных параметров флотации является многостадийная модель, предложенная Ксенофонтовым Б.С. Актуальным при расчете процесса флотации, является учет явления коалесценции флотокомплексов, которое оказывает влияние на количество и размер пузырьков и непосредственно способствует интенсификации процесса флотации. Расчет процесса флотации по усовершенствованной многостадийной модели с учетом коалесценции флотокомплексов позволяет более точно определить время процесса (для гидрофобных загрязнений до 8 мин, для взвешенных веществ до 15 мин), тем самым сократить габаритные размеры установки, количество используемых аэраторов и расход воздуха.

Возможности интенсификации процесса флотации связаны с извлечением мелких флотокомплексов, которые обычно уносятся потоком очищаемой жидкости. Одним из вариантов модернизации имеющихся пневматических установок может быть использование в выходной камере флотомшины разных фильтрующих элементов.

В МГТУ им Н. Э. Баумана была разработана комбинированная пневматическая флотационная машина с фильтрующим элементом. В качестве загрузки в фильтрующем элементе используются различные нетканые материалы и зернистые загрузки. Основным критерием подбора фильтрующих загрузок являлось наименьшее со-

противление материала. Перфорированный материал, из которого выполнен корпус фильтрующего элемента, рассчитывался в соответствии с размером флотокомплексов и гидрофильных загрязнений таким образом, чтобы способствовать их коалесценции ( $d_{\text{отв.}}=0,1$  мм).

Испытания модельной комбинированной пневматической флотомашины с фильтрующим элементом, в качестве загрузки в котором использовался нетканый материал «Мегасорб», с начальной концентрацией нефтепродуктов 30 мг/л показали, что на выходе из установки концентрация загрязнений составила 0,27 мг/л. При испытаниях комбинированной флотомашины с аналогичной начальной концентрацией загрязнений, но с фильтрующей загрузкой на основе углеродных волокон УВИС-АК-В в фильтроэлементе, на выходе из установки достигнута остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде не более 0,04 мг/л.

Таким образом, при использовании комбинированной флотационной машины с фильтрующими элементами можно достигать качества очистки стоков до требований, предъявляемых при сбросе очищенных вод в открытый водоем, без дополнительной последующей установки адсорбционных фильтров, требующих больших капитальных затрат и площадей. Установка компактна и имеет меньшие габариты, чем известные флотомашины с аналогичной производительностью. Это достигается в первую очередь за счет более детального расчета флотационного процесса на основе многостадийной модели с учетом коалесценции. Применение такой флотомашины в схемах очистки сточных вод автотранспортных предприятий позволяет экономить до 25% общей стоимости очистных сооружений. Опытно-промышленные образцы комбинированной пневматической флотомашины с фильтроэлементами внедрены в депо г. Смоленска и на МПС №307 г. Вязьмы.

**Городская улично-дорожная сеть – неблагоприятная среда для лиц с ограниченными физическими возможностями**

Городская среда во все времена являлась средой повышенной опасности для жителей: высокая плотность населения, ломка стереотипов поведения, ограниченность пространства.

Для обеспечения высокой эффективности транспортных потоков проектировщики должны понимать и уметь учитывать потребности как можно более широкого диапазона лиц, относящихся к категории пешеходов. Тротуары, переходы, пешеходные зоны более эффективны, когда учитывают потребности всех потенциальных пользователей, включая лиц с ограниченными физическими возможностями.

Особенно значимой эта проблема представляется для лиц с ограниченной подвижностью. Несмотря на действующие нормативные правовые акты, на федеральном уровне отсутствуют нормы проектирования дорог, учитывающие потребности этой значительной части населения. Ряд лиц с ограниченными физическими возможностями (дети, пожилые люди, инвалиды, беременные женщины, временно нетрудоспособные - заболевшие обычными заболеваниями и др.) находятся в сложных условиях, так как большинство этих групп пешеходов вообще не учитываются. Формально многие из них считаются практически здоровыми и даже способными управлять автомобилем.

Перевозка детей в колясках, «транспортные средства» пешеходов для перевозки грузов также ограничивают их физические способности. Такие пешеходы не могут реагировать на потенциальные опасности так же быстро, как другие, потому что они более нагружены физически и могут отвлечься на ребенка или на груз, им требуется и большее пространство для движения.

Некоторые проектные решения могут принести пользу одной группе, но затруднить доступ для другой. Устройство скатов для передвижения по подземному переходу для пользователей инвалидного кресла затрудняет движение инвалидов, пользующихся костылями, которым необходимы широкие и низкие ступеньки. Поэтому при проектировании маршрутов движения пешеходов необходимо учитывать интересы максимального числа групп.

Во введении в московские «Рекомендации по проектированию окружающей среды, зданий и сооружений с учетом потребностей инвалидов и других маломобильных групп населения» МДС 35-1.2000 указано, что рекомендации «предназначены для проектирования окружающей среды, зданий и сооружений, учитывающих специфические особенности людей, относящихся к маломобильной группе населения: инвалидов и престарелых». Но в заключении появляется уточнение: «Маломобильные группы населения - лица старшей возрастной группы, 60 лет и старше, инвалиды трудоспособного возраста 16-60 лет, дети-инвалиды до 16 лет, дети до 8-10 лет, пешеходы с детскими колясками, временно нетрудоспособные», хотя в тексте про детей, детские коляски и временно нетрудоспособных вообще не упоминается.

**Бакатин Ю.П., Ростовцев Ю.Н.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Учет экологических убытков (ущерба) в оценке эффективности эксплуатации дорожных машин**

Удельные приведенные затраты на эксплуатируемую дорожную технику должны быть скорректированы в части суммарных удельных экологических затрат на величину удельного эколого-экономического ущерба.



## Системы критериев

Ценовой критерий	Эколого-экономический критерий	Экологический критерий
$\frac{C + E_n K}{П}$	$\frac{\Delta C}{П}$	$\frac{M}{П}$

где  $\Delta C$  – дополнительные затраты (платежи) на эксплуатацию техники, учитывающие возмещение ущерба окружающей среде, тыс. руб.,  $Z_{пр}$ - приведенные затраты, тыс.руб.,  $Z_{уд}$ - удельные приведенные затраты, тыс.руб./м<sup>3</sup>,  $K$  - капиталовложения, тыс.руб.,  $C$  - затраты (платежи) на эксплуатацию техники, тыс. руб.

При равенстве первых двух критериев выбор делают по третьему критерию.

Данные положения реализованы в методике формирования экологически целесообразного комплекта “экскаватор – автосамосвалы”, учитывающей ущерб, наносимый машинами окружающей среде от загрязнения атмосферы вредными выбросами. Они могут быть использованы при экологической экспертизе дорожных машин, а также при выборе предпочтительных марок дорожных машин при их покупке.

### Схема расчета

1. Расчет объема работ (производительности) машины (за час, сутки, месяц, год) или определения наработки.
2. Расчет расхода топлива за выполненный объем работ или расчет выбросов вредных веществ (CO, CH, NO<sub>x</sub> и др.).
3. Расчет ЭУ от сгорания топлива или от вредных выбросов.
4. Расчет удельного ущерба на единицу объема работы (выработки) машины (механизма).

Данный расчет производится программой MES, которая позволяет определять лучший комплект самосвал-экскаватор из имеющегося парка.

**Стеблецкий С.В., Бакатин Ю.П., Извеков А.А.,  
Илларионов С.Г., Ратковский С.Н.**  
Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

### **Совершенствование процедуры нормирования дымности самоходных дорожных машин**

За последние годы в нашей стране численность парка дорожной техники существенно увеличилась. Функции по контролю дымности самоходных дорожных машин возложены на инспекторов Гостехнадзора, которые должны владеть методикой измерения дымности, иметь представление о конструктивных особенностях машины.

Порядок определения нормативных значений дымности машин на базе тракторов на режимах свободного ускорения двигателя регламентируется в ГОСТ 17.2.2.02.-98. Испытателю необходимо учесть конструктивные особенности машины (наличие/отсутствие муфты сцепления) и дизеля (наличие/отсутствие турбонаддува), определить применение машины и условия измерений; по параметрам двигателя вычислить условный расход воздуха, затем установить по таблицам норму дымности. Провести измерения в соответствии с требованиями ГОСТа и сравнить полученные измерения с нормой.

Это достаточно неудобно и трудоемко. Компьютеризация процесса контроля дымности самоходных дорожных машин в соответствии с ГОСТ 17.2.2.02.-98 позволяет переложить трудоемкую часть процесса на электронного помощника.

На основе вышеописанной идеи разработано программное обеспечение для ЭВМ, прошедшее государственную регистрацию и способное выполнять эти функции.

**Довгаль Н.В., Бакатин Р.Ю.**

Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ)

**Руководство по обеспечению нормативов экологических и технических требований к энергоустановке автомобиля как объекту диагностирования**

Экологический экспресс-контроль автомобиля целесообразно проводить при работе двигателя, в области близкой к максимальному крутящему моменту, что соответствует минимальному удельному расходу топлива по его скоростной характеристике. Получаемая диагностическая информация будет свидетельствовать либо об удовлетворительном техническом состоянии ДВС (обеспечении показателя «контрольный расход топлива»), либо о необходимости назначения «курса лечения».

На момент проверки система пуска двигателя должна быть исправна, выдержан тепловой режим, обеспечено соответствующее качество смазывающего материала (достигнуто минимальное сопротивление трению деталей). Любая из этих неисправностей снижает энергоэкологическую автомобиля в конкретных условиях его эксплуатации.

Диагностическая модель энергоустановки автомобиля представлена в виде граф-дерева в соответствии с рекомендациями проф. Сидорова В.И. Корневой вершиной этой диагностической модели (ДМ) является само автотранспортное средство (АТС). Параметром его технического состояния (ПТС) является прямой (структурный) диагностический параметр (ПДП) – удельный расход топлива на единицу мощности. Другие параметры технического состояния являются вершинами других ветвей граф-дерева ДМ со своими ПДП. Таким образом, диагностическая модель представляется в виде многоуровневого граф-дерева. ПТС, расположенные на послед-

нем (нижнем) уровне, являются независимыми и представляют собой конкретные причины неисправностей (отказов) АТС.

Каждый из ПДП обладает информационной характеристикой. Ее значение зависит от количества причин, вызывающих нарушение (отказ) нормальной работоспособности объекта диагностирования (ОД). Независимые причины отказов – ПДП, возможно, вышедшие за пределы допустимого значения, расположены на последнем уровне. Они и вызывают неопределенность (рост энтропии) рассматриваемой системы ДМ. Контрольно-диагностические операции (диагностирование) позволяют определить фактическое состояние ОД, обнаружить причину неисправности. При этом значение конкретного ПДП будет находиться за пределами допуска. Количество информации одной диагностической операции равно величине уменьшения энтропии. Следует отметить, что средняя информативность отдельных ПДП верхнего уровня ДМ, в случае обнаружения его выхода за пределы допуска, в десятки раз больше, чем среднее ее количество у конкретного ПДП последнего (нижнего) уровня диагностируемой ветви граф-дерева. Такая зависимость должна стимулировать, с одной стороны, обеспечение высокой контролепригодности при изготовлении АТС, а с другой - выбирать эффективные методы и средства диагностирования (СД) в системе экспресс-сервиса. Конкретная задача оценки информационной значимости ПДП рассматриваемой ДМ решается с помощью специальной программы на ЭВМ.

Полученные результаты позволяют быстро найти скрытую неисправность (дефект) в ОД. При этом удастся избежать контрольно-диагностических операций, не содержащих информацию о наличии технической неисправности. Данная задача решена путем поиска скрытого дефекта (неисправности) по критерию максимальной скорости получения диагностической информации.

Технический редактор Н.П. Лапина

---

Подписано в печать		Формат 60×84/16
Печать офсетная	Усл. печ. л.	Уч. –изд. л.
Тираж 150 экз.	Заказ	Цена

---

Ротапринт МАДИ(ГТУ). 125319, Москва, Ленинградский просп., 64