Грузовик с приложением

4
2014

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель
ООО «Издательство Машиностроение»

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

Д.Х. Валеев, д-р техн. наук, гл. констр. ОАО "КАМАЗ"
В.М. Вовк, ген. дир. ОАО МЗКТ
В.А. Волчков, гл. ред. "Autotransportnik.ru"
С.М. Гайдар, д-р техн. наук, проф., МСХА им. К.А. Тимирязева
Л.В. Грехов, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.А. Зорин, д-р техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
А.М. Иванов, д-р техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
Н.И. Иващенко, д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.В. Комаров, канд. техн. наук, зам. ген. директора ОАО НИИАТ
В.А. Марков, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
А.Н. Ременцов, д-р пед. наук, канд. техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
О.Н. Румянцева, ком. директор ООО "Издательство Машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд. техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
В.С. Устименко, канд. техн. наук, НИИЦ АТ ФГУ 3 ЦНИИ МО РФ
Х.А. Фасхиев, д-р техн. наук, проф. Уфимского ГАТУ
Н.Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана

Корпункты:
Я.Е. Карповский (г. Минск)
В.Г. Дьяченко (г. Харьков)

Адрес редакции
107076, Москва, Стромынский пер. 4.
Тел. (499) 269-49-97
E-mail: grouzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства
107076, Москва, Стромынский пер. 4.
Тел. (499) 268-38-58

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре.
Регистрационный номер ПИ № ФС77-42764
от 26 ноября 2010 г.

Подписной индекс:
по каталогу «Роспечать» 37349,
по объединенному каталогу «Пресса России» 39799,
по каталогу «Почта России» 25782

© ООО «Издательство Машиностроение», «Грузовик», 2014

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

В НОМЕРЕ:

Конструкция

2 *Батыщев Д. Ю., Рыжиков В. А.* Система распределенного впрыска газа с подачей воды в цилиндры ДВС

5 *Соколов Р. И., Ильин А. В.* Конструктивные решения для колес и шин повышенной ходимости

Городской пассажирский наземный транспорт

8 *Бекмагамбетов М. М., Кочетков А. В.* Обзор мирового опыта развития интеллектуальных транспортных систем

17 *Максимов В. А., Суматохин Д. Г., Сарбаев В. И.* Анализ факторов, определяющих маршрутный расход топлива городских автобусов

20 *Нгуен Хунг Мань, Ременцов А. Н., Нгуен Минь Тиен.* Организация пассажирских перевозок во Вьетнаме

Исследования. Расчет

23 *Копотилов В. И.* Сила сопротивления качению колеса как продольная реакция опорной поверхности

30 *Микулик Т. Н., Рейзина Г. Н.* Исследование влияния параметров сиденья на вибронагруженность оператора (водителя)

Профессия

33 *Полякова Т. Ю., Ременцов А. Н.* Англо-русский терминологический словарь-минимум для специалистов автотранспортного комплекса

36 *Шарапова И. К., Гулый В. В.* Сравнительный анализ эффективности эксплуатации автомобилей, работающих на различных видах энергоносителей

Экология

41 *Марков В. А., Девянин С. Н., Шимченко С. П.* Экспериментальные исследования дизельгенераторной установки, работающей на биогазе

48 *Abstracts of articles*

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Система Российского индекса научного цитирования www.elibrari.ru

Информация на сайте Autotransportnik.ru

УДК 621.43

Д. Ю. Батыщев, аспирант, e-mail: batyshhev@bk.ru, **В. А. Рыжиков**, д-р техн. наук, проф.,
ИСОиП ФГБОУ ВПО Донской государственный технический университет,
E-mail: rigikov54@mail.ru

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВПРЫСКА ГАЗА С ПОДАЧЕЙ ВОДЫ В ЦИЛИНДРЫ ДВС

Дан анализ использования газового топлива в системе питания ДВС. Разработана система распределенного впрыска газа с подачей воды в цилиндры. Обоснован алгоритм управления работой топливных и водяных форсунок электронными блоками управления. Разработана конструкция воздушного коллектора с водяной рампой автомобиля ВАЗ-2110.
Обоснованы внешние скоростные характеристики ДВС при работе на газоводяной смеси.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, газовая, водяная смесь, управление, конструкция.*

В условиях мирового энергетического кризиса и увеличения количества автомобильного транспорта переход на газовое топливо приобрел актуальный характер. Причиной этому послужили ухудшение экологической обстановки в мире и острая необходимость значительного сокращения потребления дизельного топлива и бензина. Применение газа как альтернативного вида топлива позволяет не только сократить использование нефтепродуктов, но и уменьшить стоимость эксплуатации автомобиля. Также следует отметить, что газовое топливо для ДВС не требует дополнительной химической обработки [3].

Исходя из специфики применения, горючие газы, используемые как моторное топливо, можно разделить на несколько типов:

— сжиженные природные газы (СПГ);

— сжиженные нефтяные газы (СНГ);

— компримированные природные газы (КПГ).

Несмотря на противоречивые мнения многих авторов, газовое топливо имеет несомненное преимущество перед жидким. Об этом можно судить по величине коэффициента полезного действия. Для газовых двигателей в широком диапазоне он достигает 38—40 %, а для бензинового двигателя этот коэффициент не превышает 30—35 % [1, 3]. Другим подтверждением являются данные фирмы "Ford". При испытании автомобильного двигателя, работающего на СПГ, по итогам пробега в 55 тыс. миль, было отмечено, что его мощность на 10 % выше, чем у аналогичного, работавшего на бензине (соответственно, 74 и 66 кВт), а содержание окиси углерода в отработавших газах двигателей на СПГ было в 5 раз ниже (соответственно 0,21 и 1,2 %) [9].

Также не следует забывать, что горючие газы имеют свои недостатки. К основным можно отнести:

— потерю разгонной динамики;

— снижение максимальной скорости движения (5—8 %);

— уменьшение мощности вследствие понижения степени сжатия (10—15 %).

В отличие от классической газово-редукторной системы подачи топлива, система распределенного впрыска газа позволяет стабилизировать работу двигателя, снизить расход топлива и повысить динамические характеристики двигателя [5, 8, 1]. Данный тип топливной системы наиболее удовлетворяет требованиям современных ДВС, поскольку является идентичным бензиновым системам, на которые ориентировано современное двигателестроение.

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что потерю топливно-экономических показателей можно сбалансировать путем добавления топливных присадок. Однако, как было отмечено ранее, газовое топливо не поддается химической обработке [3, 4]. Оно имеет более низкую атомную массу и применяется в ДВС в виде воздушно-капельного тумана [4—6]. По мнению некоторых авторов, применение воды в качестве топливной при-

садки к горючему газу является радикальным решением, поскольку дает возможность увеличить эффективную мощность и показатели внешней скоростной характеристики в целом.

При воспламенении топлива микроскопические капли воды начинают интенсивно испаряться с поверхности нагретых деталей. Этот процесс сопровождается значительным возрастанием давления (которое впоследствии будет совершать работу сжатия) и незначительным понижением температуры в камере сгорания. Благодаря снижению пиковой температуры горения (2000 °С) скорость детонации замедляется, позволяя сжечь большее количество топлива [6]. Во время впрыска топливной смеси при высокой температуре часть воды разлагается на кислород и водород, который также участвует в процессе горения. В результате такого горения топливной смеси мощность двигателя возрастает примерно на 12 % в зависимости от подаваемого количества воды.

На рис. 1 изображена схема системы распределенного впрыска газа с подачей воды в цилиндры. За основу взят восьмиклапанный бензиновый ДВС, имеющий ряд конструктивных доработок.

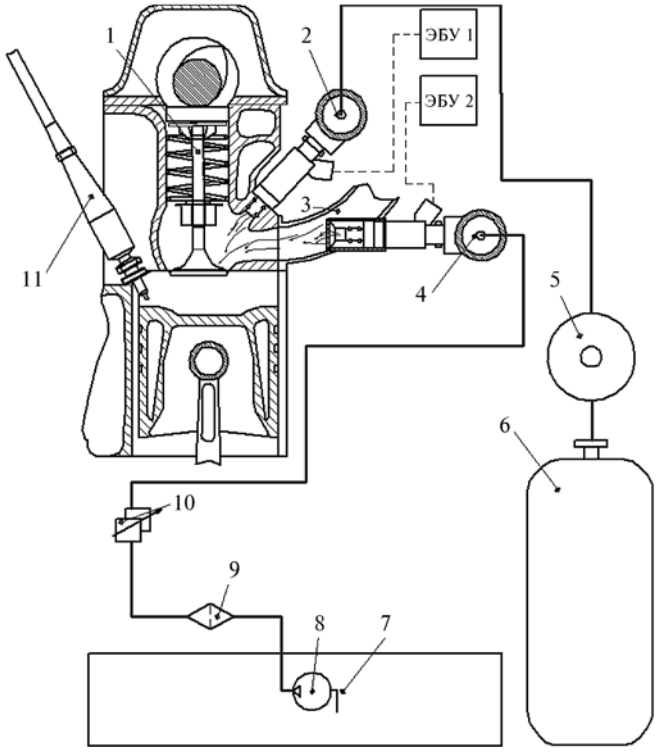


Рис. 1. Схема системы распределенного впрыска газа с подачей воды в цилиндры:

1 — впускной клапан; *2* — топливная рампа; *3* — воздушный коллектор; *4* — водяная рампа; *5* — газовый редуктор; *6* — газовый баллон; *7* — бак с водой; *8* — водяной насос; *9* — водяной фильтр; *10* — регулятор давления воды; *11* — свеча зажигания

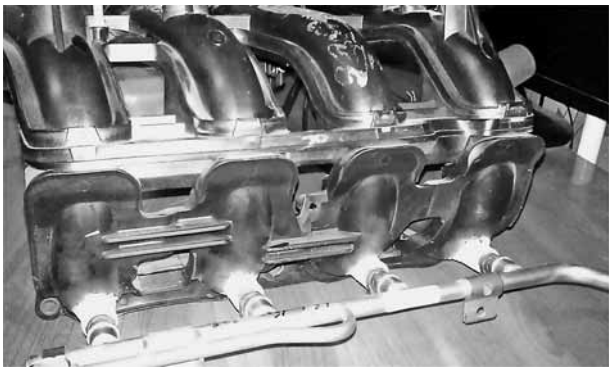


Рис. 2. Воздушный коллектор с водяной рампой автомобиля ВАЗ-2110

Штатная топливная система укомплектовывается с помощью дополнительного ряда форсунок и топливной рампы, водяного бака, фильтра и регулятора давления. Сигнал управляющего воздействия на форсунки создается при помощи дополнительного ЭБУ. Подача воды через форсунку осуществляется непосредственно во впускной коллектор, как показано на рис. 2. Дополнительная водяная рампа и водяные форсунки устанавливаются в нижней части коллектора, под углом 45 градусов относительно топливной рампы. На рис. 2 показана конструкция воздушного коллектора двигателя ВАЗ-2110.

Для управления режимами работы водяных форсунок используется электронный блок управления. Синхронизация работы двух электронных блоков осуществляется при помощи датчика положения коленчатого вала. Так как количество воды, подаваемой в двигатель, составляет 10—12 % общего объема впрыскиваемого топлива, время включения водяной форсунки должно быть меньше времени включения топливной форсунки.

Для лучшего смесеобразования газо-воздушной смеси на каждый цикл работы цилиндра сначала включается водяная форсунка, а затем через некоторое время включается топливная форсунка.

На рис. 3 изображен график задержки подачи управляющего сигнала топливной форсунки.

Следует отметить, что время задержки включения управляющего сигнала определяется различными расстояниями между водяной и топливной форсунками и отверстием впускного клапана.

На рис. 4 изображены графики внешней скоростной характеристики при работе ДВС в идентичных режимах с применением газового топлива и газо-водяной смеси.

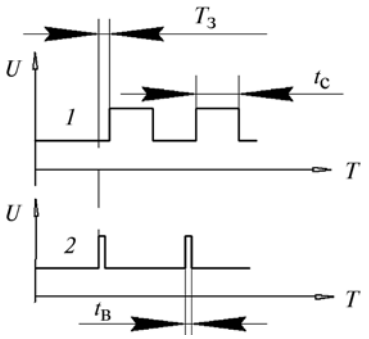


Рис. 3. График управляющих сигналов топливной (*1*) и водяной (*2*) форсунок:

1 — сигнал управления топливной форсункой; *2* — сигнал управления водяной форсункой; $T_з$ — время задержки включения топливной форсунки; t_c — длительность сигнала управления топливной форсункой; $t_в$ — длительность сигнала управления водяной форсункой

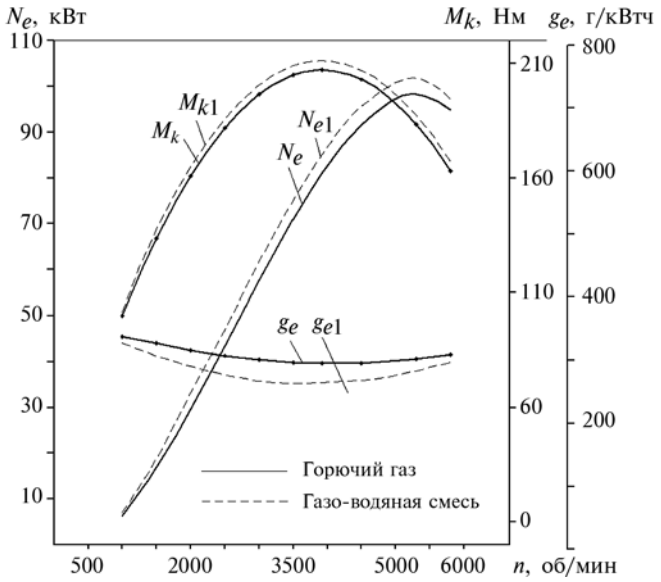


Рис. 4. График внешней скоростной характеристики при работе на газовом топливе и газо-водяной смеси:

M_k — крутящий момент; G_e — расход топлива; N_e — эффективная мощность ДВС

График внешней скоростной характеристики работы ДВС на газотопливной смеси иллюстрирует увеличение эффективной мощности на 10 % и снижение расхода топлива на 15 %. Таким образом, недостаток мощности рабочего цикла можно сбалансировать путем добавления воды к горючему газу.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

— установка дополнительного оборудования на штатную газовую систему питания не требует сложного конструктивного вмешательства;

— впрыск воды в камеру сгорания позволит улучшить топливно-экономические показатели газового ДВС и снизить концентрацию вредных веществ в отработавших газах;

— добавление воды в рабочий цикл ДВС позволит повысить детонационную стойкость и оптимизирует полноту сгорания топлива;

— применение воды в качестве присадки в системе распределенного впрыска газа позволит компенсировать недостаток эффективной мощности по отношению к бензиновому ДВС и улучшить динамику работы двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вырубов Д. Н.** Двигатели внутреннего сгорания [Текст] Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин [и др.]: под ред. А. С. Орлин, М. Г. Круглова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
2. **Воинов А. Н.** Экспериментальное исследование детонации в двигателях с искровым зажиганием [Текст] / А. Н. Воинов // Сб. науч. ст.: Институт машиностроения. Институт химической физики. АН СССР. — М., 1951. — С. 212—239.
3. **Лодня В. А.** Улучшение параметров двухтактного ДВС путем применения непосредственного впрыскивания бензина и совершенствования процесса смесеобразования: Дисс. ... канд. тех. наук / В. А. Лодня. — Москва, 2000. — 170 с.
4. **Аппаратура** впрыска легкового топлива автомобильных двигателей / Ю. И. Будько, Ю. В. Духнин, В. Э. Когачев и др. — Л.: Машиностроение, 1975. — 195 с.: ил.
5. **Двигатели** внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина и М. Г. Круглова. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.: ил.
6. **Бирюков А. Л.** Улучшение эксплуатационных и экологических показателей бензиновых двигателей путем применения топливно-водяных смесей: дисс. ... канд. техн. наук / А. Л. Бирюков. 2011. — 177 с.
7. **Кульчицкий А. Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: Учеб. пос. для высшей школы / А. Р. Кульчицкий. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Академический Проект, 2004. — 400 с.
8. **Панов Ю. А.** Улучшение экологических показателей карбюраторного двигателя путем организации рабочего процесса с подачей воды в цилиндры [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Панов Ю. А. — Тверь, 1999. — 178 с.
9. **Золотницкий В.** Автомобильные газовые топливные системы [Текст] Теория поршневых и комбинированных двигателей / В. Золотницкий, Н. А. Иващенко и др.: под ред. А. С. Орлин, М. Г. Круглова, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2007. — 128 с.

УДК 629.3.021.06

Р. И. Соколов, канд. техн. наук, **А. В. Ильин**, НИИЦ АТЗ ЦНИИ МО РФ
E-mail: amn12no@mail.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОЛЕС И ШИН ПОВЫШЕННОЙ ХОДИМОСТИ

В статье описаны решения, применяемые в настоящее время для колес и шин повышенной ходимости, которые должны сохранять возможность движения автомобиля на определенное расстояние в случае повреждения (прокола, пореза, прострела).
Рассмотрены конструктивные особенности, преимущества и недостатки шин с губчатой камерой, с наполнителем из пенистой массы, с утолщенными (усиленными) боковинами, колес с внутренним ограничителем деформации и распорно-герметизирующим кольцом, а также колес с внешним ограничителем деформации.

Ключевые слова: *автомобиль, шина, колесо, конструкция, преимущества, недостатки, подвижность.*

(Рисунки на 2-й и 3-й полосах обложки)

Пневматические шины до настоящего времени остаются в боевой обстановке наиболее уязвимой составной частью армейских автомобилей. Их работоспособность легко нарушается при пулевых пробоинах и механических повреждениях (проколах, порезах). Особенно сильные повреждения шины получают при наезде на мины. На автомобилях с бескамерными и, в большей степени, с серийными камерными шинами такие повреждения приводят к потере подвижности техники, а в боевой обстановке — к невыполнению боевой задачи и даже потерям материальных средств [1].

Поэтому проблема сохранения подвижности колесной военной автомобильной техники (ВАТ) при повреждении их движителей приобретает с каждым годом все большую актуальность.

Еще в начале XX в. при обеспечении подвижности колесных транспортных средств применялись шины с губчатой камерой (рис. 1).

Шины такой конструкции способны были сохранять свою работоспособность при механических повреждениях, а также при попадании в них пуль и осколков, однако вследствие повышенного теплообразования и опасности теплового разрушения не могли эксплуатироваться со скоростями более 40 км/ч.

Кроме того, подобные конструкции колес были подвержены снижению внутреннего давления в результате диффузии газа и сохраняли значительную остаточную деформацию после длительной стоянки [1]. Вот почему широкого распространения данный тип шин не получил. На смену им пришли шины с резиновыми камерами, конструкция которых постоянно совершенствовались, а появление бескамерных шин послужило мощным импульсом в развитии конструкций колес, способных сохранять свою работоспособность при неблагоприятном воздействии внешних факторов.

Основным преимуществом колес с бескамерными шинами, в сравнении с колесами, укомплектованными камерными шинами, стало то, что механические повреждения (в том числе сквозные) уже не вызывали резкого падения внутреннего давления воздуха, поэтому колеса с бескамерными шинами способны были сохранять большую работоспособность. А внедрение системы регулирования давления воздуха в шинах (СРДВШ) на армейских автомобилях позволило значительно повысить их эксплуатационные характеристики в целом и еще больше повысить стойкость колес к воздействию внешних факторов, а значит, и улучшить подвижность колесной техники. Однако применение СРДВШ эффективно только до определенного момента. При наличии большого количества повреждений система не способна компенсировать утечку воздуха и поддерживать даже минимально допустимое внутреннее давление воздуха в шинах — автомобиль теряет подвижность [2].

В настоящее время известно большое количество конструктивных решений, обеспечивающих внешнюю защиту колес (конструктивные элементы автомобиля) от поражающих факторов (прострелы, по-

резы и т. д.), а также направленных на совершенствование непосредственно шин, однако вследствие несовершенства незначительная их часть получила практическую реализацию.

Рассмотрим наиболее распространенные конструкции.

Шины с наполнителем (рис. 2). Конструкция этих шин представляет собой пенистую массу (наполнитель), размещаемую в собственной эластичной оболочке, которая удерживается внутренним избыточным давлением воздуха.

При повреждении шины внутреннее давление воздуха в ней снижается и пенистая масса, раздуваясь, заполняет свободный объем внутренней полости, сохраняя тем самым работоспособность колеса. На практике же такие колеса оказались слишком жесткими и тяжелыми, а нерегулируемая радиальная жесткость шин предопределяет невысокий уровень опорной проходимости автомобилей по деформированным грунтам [3].

В настоящее время специалисты ведущих фирм-производителей стали разрабатывать конструкции колес, способных не только сохранять подвижность автомобилей при отсутствии избыточного давления в шинах, но и обеспечивать высокие эксплуатационные показатели автомобилей. Одним из самых распространенных технических решений являются колеса с бескамерными шинами и установленными во внутренней полости ограничителями деформации (рис. 3).

Внутренние ограничители радиальной деформации (внутренние дополнительные опоры) устанавливают на ободе колеса. Они могут быть выполнены из эластичных резинокордных или жестких полимерных материалов (рис. 4).

При отсутствии повреждений такие колеса работают так же, как и с обычными пневматическими шинами. В случае же повреждений и снижения и даже полного отсутствия избыточного давления воздуха в шинах нагрузку начинают воспринимать ограничители. Колесо с ограничителями деформаций позволяет сохранять высокий уровень подвижности транспортных средств в различных дорожных условиях при движении на неповрежденных шинах, а в случае потери избыточного внутреннего давления воздуха — продолжить движение с небольшими скоростями и непродолжительное время. Колеса такой конструкции характеризуются высокой динамической нагруженностью при движении по дорогам с твердым покрытием, особенно при сниженном давлении воздуха в шинах, а также значительно худшими показателями маневренности и курсовой устойчивости автомобиля. Данные колеса целесообразно устанавливать на автомобили, непосредственно участвующие в боевых действиях.

На армейские тыловые (транспортные) автомобили, выполняющие, в основном, подвоз материальных средств, с целью снижения неподрессоренных масс и улучшения показателей плавности хода целесообразно устанавливать колеса с резинокордным распорно-герметизирующим кольцом (рис. 5) [2].

Распорно-герметизирующее кольцо надежно прижимает покрышку к ободу колеса и исключает их взаимное проворачивание, что позволяет сохранять возможность движения в сложных дорожно-грунтовых условиях (по снегу, грязи, песку) при значительном снижении или отсутствии давления воздуха в шинах.

Кроме рассмотренных конструкций, имеются также разработки колес с внешним ограничителем деформации. Его крепят к ободу колеса с одной или двух сторон (рис. 6). Однако во время движения по неровным дорогам через него передаются ударные нагрузки даже тогда, когда колесо не повреждено.

Внешние ограничители деформации могут защитить шины от поражения пулями и осколками, однако регулировать в них внутреннее давление малоэффективно и, кроме того, при движении на таких поврежденных шинах на движитель передаются большие динамические нагрузки. Поэтому такой тип конструкции широкого распространения не получил [2].

В настоящее время колеса, способные сохранять работоспособность при наличии механических повреждений, активно внедряются и на коммерческих автомобилях. Эта работа ведется, в основном, в двух направлениях: разработка конструкций колес с внутренними дополнительными опорами и шин с утолщенными (усиленными) боковинами (рис. 7). Предлагаемые конструкции объединены одним общим названием — шины "Run-Flat".

Такие колеса способны сохранять работоспособность при значительном снижении внутреннего давления воздуха в шинах и, по заявлениям некоторых производителей, могут обеспечить движение автомобиля со скоростями до 90 км/ч на расстояние до 200 км. Ограничения по скорости и расстоянию движения связаны, прежде всего, с высокой тепловой нагруженностью шин и опасностью их теплового разрушения. Кроме того, после движения в таком режиме шины не пригодны к дальнейшей эксплуатации и подлежат обязательной замене.

Системы «Run-Flat» различных производителей

Конструкция шины	Аббревиатура	Фирма-производитель
Усиленные боковины	EMT	Goodyear
	RFT	Bridgestone
	DSST	Dunlop
	EUFORIA	Pirelli
	ZP (ZERO PRESSURE)	Michelin
	SSR	Continental
Внутренняя дополнительная опора	CSR	Continental
	PAX	Michelin

В таблице представлены конструкции колес (шин) и их условные обозначения, которые предлагают ведущие фирмы-производители шин в качестве систем "Run-Flat".

Ничто не идеально, и система "Run-Flat" также не лишена определенных недостатков.

Однако колеса, включенные в эту систему, обладают значительными преимуществами по сравнению с колесами с бескамерными шинами традиционной конструкции. Вот почему крупные фирмы-производители автомобилей (BMW, Lexus, Audi и др.) уже сейчас включают шины с системами "Run-Flat" в базовую комплектацию своих автомобилей.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что в настоящее время разработано большое количество конструкций колес и шин, обеспечивающих их защиту от поражающих факторов. Наибольшее распространение как на армейских, так и на коммерческих автомобилях получили колеса с внутренними дополнительными опорами и шины с усиленными боковинами.

Указанные конструкции колес позволяют сохранить подвижность автомобилей в определенных пределах в зависимости от назначения автомобиля. Ведущие фирмы-производители колес и шин продолжают работы по совершенствованию их конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ООО "Научно-исследовательский испытательный технический центр"**, научно-технический отчет по НИР "Исследование проблем создания и конструктивных решений боестойких шин и шин повышенной ходимости для перспективных образцов военной автомобильной техники". (Шифр НИР "Пятихатец"). Этап 1 "Обоснование (уточнение) требований по боестойкости колес для образцов ВАТ исходя из их предназначения и условий эксплуатации", Бронницы, 2007.
2. **ООО "Научно-исследовательский испытательный технический центр"**, научно-технический отчет по НИР "Исследование проблем создания и конструктивных решений боестойких шин и шин повышенной ходимости для перспективных образцов военной автомобильной техники". (Шифр НИР "Пятихатец"). Этап 2 "Анализ отечественного и мирового опыта создания боестойких колес, а также показателей эксплуатационных свойств боестойких колес существующих конструкций отечественного и зарубежного производства", Бронницы, 2007.
3. **Разработка** шин и дисков для перспективных образцов военной автомобильной техники: Отчет по ОКР "Равнина" (1 этап) / НИИТЦ; Исп. Чистов М. П., Ильин А. В., Аипов Т. А. и др. — 2008. — 148 с.

УДК 656

М. М. Бекмагамбетов, д-р техн. наук, проф., Президент Научно-исследовательского института транспорта и коммуникаций, г. Алматы, Республика Казахстан,
А. В. Кочетков, д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, член Президиума Российской академии транспорта
E-mail: soni.81@mail.ru

ОБЗОР МИРОВОГО ОПЫТА РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается опыт развития интеллектуальных транспортных систем развитых стран и стран СНГ. Тенденции развития человеческих знаний, технологий позволяют ожидать, что в своем завершенном виде ИТС будут нести в себе все характерные черты интеллектуальных систем — способность к взаимодействию с пользователями и решению сложных, плохо формализуемых задач, самообучение и адаптивность.

Ключевые слова: *интеллектуальные транспортные системы, эксперты, мировой опыт, развитие, телематика.*

Активное развитие информационных и коммуникационных технологий во второй половине XX в. определило дальнейший путь развития общества, экономики и, в частности, транспорта. Первым значительным шагом на пути качественного преобразования стало появление телематики — перекрестной технологии, объединяющей технологические сферы телекоммуникации и информатики. Вошел в обиход термин "транспортная телематика".

Ряд экспертов ближнего и дальнего зарубежья в качестве синонима транспортной телематики использует термин "Интеллектуальные транспортные системы" (ИТС). Подобный подход особенно характерен, если речь идет об ИТС на автодорожном транспорте. Одно из самых удачных определений звучит следующим образом: "Транспортная телематика объединяет информационную и телекоммуникационную технологии с организацией движения транспортных потоков так, чтобы повысилась пропускная способность существующей транспортной инфраструктуры, возросла безопасность движения и повысился психологический комфорт пассажиров".

Существует и другая точка зрения. Например, Европейский институт стандартизации электросвязи (ETSI) рассматривает ИТС как систему, включающую в себя телематику и все типы коммуникаций в транспортных средствах, между транспортными средствами, а также между транспортными средствами и фиксированными местоположениями (например, между автомобилем и инфраструктурой). Всемирная дорожная ассоциация (PIARC) также отмечает, что "транспортная телематика" — термин, используемый для обозначения группы технологий, которые поддерживают ИТС. Такая точка зрения распространена и в США, где термин "телематика" часто служит для обозначения беспроводной связи по стандартам IEEE 802.11 (Wi-Fi), в частности стандарту IEEE 802.11p — WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment — Беспроводной Доступ для Транспортной Среды). Рассмотрение транспортной телематики как группы современных информационно-телекоммуникационных технологий, применяемых в ИТС, представляется более обоснованным, исходя из чего в настоящем исследовании термин используется только в этом качестве.

С появлением первых компьютеров в 60-х годах исследователи стали рассматривать возможность их использования для обеспечения поперечного и про-

дольного контроля и управления дорожным движением. Полностью концепция автоматизированного шоссе GM прошла первые испытания при спонсорской поддержке Департамента транспорта США (DOT) в конце 70-х годов. В этот период акцент ставился на автоматизацию управления транспортными средствами на шоссе, потому что компьютеры не имели достаточных мощностей для создания полностью автоматизированного шоссе.

На наш взгляд [1, 2], именно эти разработки представляли собой первые версии ИТС. Сам термин "Интеллектуальные транспортные системы" (Intelligent Transportation Systems, ITS) был официально введен Департаментом транспорта США в 1994 г. в качестве замены термина "Интеллектуальные автомобильные дорожные системы" (Intelligent Vehicle Highway Systems, IVHS). Это действие отражало мультимодальный характер новых приложений и делало акцент на технологиях управления транспортным средством. В повсеместный обиход термин "Интеллектуальные транспортные системы" вошел в середине девяностых годов после проведения первого международного конгресса ИТС во Франции.

С середины 80-х годов XX столетия крупномасштабные работы по созданию и развитию систем транспортной телематики и ИТС проводились не только в США, но и в Японии и Европе. Значительный толчок их развитию придало появление на рынке дешевой и доступной аппаратуры спутниковых навигационных систем GPS (США), GLONASS (Россия) и находящейся в завершающей стадии внедрения европейской системы GALILEO.

С начала XXI века о формировании ИТС заговорили и в странах СНГ, прежде всего в России, Беларуси, на Украине.

Несмотря на то что ИТС содержит слово "интеллектуальные", на современном этапе развития большую их часть нельзя безусловно отнести к интеллектуальным системам. Как видно из описания конкретных разработок ИТС, они, как правило, не включают один или несколько обязательных интеллектуальных элементов. Данный факт особо подчеркивается в Директиве Европейского парламента и Совета Европы 2010/40/EU, согласно которой ИТС рассматриваются как "продвинутые приложения, которые, без воплощения интеллекта как такового, имеют своей целью предоставление инновационных услуг, связанных с различными видами транспорта и управлением дорожным движением, и позволяют различным пользователям быть более информированными и делают безопасным, более скоординированным и "умным" пользование транспортными сетями". В то же время тенденции развития человеческих знаний, технологий позволяют ожидать, что в своем завершенном виде ИТС будут нести в себе все характерные черты интеллектуальных систем — способность к взаимодействию с пользователями и решению сложных, плохо формализуемых задач, самообучение и адаптивность.

Область применения ИТС постоянно расширяется от своего первоначального предназначения по управлению дорожным движением, информационному обеспечению участников дорожного движения и электронным платежам. Сегодня ИТС активно развивается не только на автомобильном, но и на других видах транспорта и охватывает такие сферы, как работа транспортных сетей и деятельность по обслуживанию транспорта; мобильность коммерческого транспорта и интермодальная совместимость; мультимодальные перемещения в части, включающей в себя дотранспортную информацию, информацию на маршруте и планирование перевозок; варьирование стоимостных стратегий при персональных и коммерческих перевозках; координация действий быстрого реагирования при аварийных и природных чрезвычайных ситуациях; требования национальной безопасности в приложении к транспортной инфраструктуре.

Развитие ИТС обнаруживает связи с областями вне транспортного сектора. Например, системы сбора дорожных платежей взаимодействуют с деятельностью в секторе электронной коммерции и могут таким образом использовать стандарты и принципы банковской индустрии, а также общепринятые бухгалтерские технологии. Направление развития ИТС, связанное с национальной безопасностью, также требует обращения к специальным национальным требованиям, относящимся к гражданской обороне, средствам связи при чрезвычайных ситуациях и другим процедурам.

В настоящее время в мире существует множество ИТС, которые можно условно подразделить:

— по сфере приложения — связанные с инфраструктурой (например, управление движением на автомагистралях, ДЦ на железнодорожном транспорте и пр.); для транспортных средств (бортовые навигационные системы, системы предотвращения столкновений и пр.);

— по видам транспорта — на железнодорожном транспорте; на автомобильном транспорте; на воздушном транспорте; на водном транспорте;

— по пользователям — государственные органы (ведомства); общественные и коммерческие служ-

бы управления транспортом; компании (организации), занятые в сфере перевозок грузов и пассажиров; водители общественного, коммерческого и индивидуального транспорта; пассажиры; другие участники дорожного движения (пешеходы, велосипедисты и пр.);

— по принадлежности — государственные, коммерческие, частные;

— по уровню функционирования/охвата — на международном уровне; на национальном уровне; на уровне региона (города); на местном уровне (например, сектор города, район и т. п.).

Конкретные проекты ИТС определяются приведенной классификацией и выбором тех сервисов, которые должны быть представлены пользователям.

Несмотря на развитие ИТС, можно отметить, что их использование нередко ограничивается отсутствием комплексного и целостного видения. Традиционно реализация проектов ИТС ориентирована на один вид транспорта с использованием автономных проприетарных систем. В этих условиях стратегическая задача транспортных администраций — создать общие рамки для развития подсистем ИТС на всех видах транспорта на основе использования открытых и общих стандартов.

IBM в своем отчете "Delivering Intelligent Transport Systems. Driving integration and innovation" отмечает, что ИТС находятся на пути к следующему этапу своего развития, где для них будут характерны: более тесная интеграция между системами и видами транспорта; открытые и общие стандарты, а также общие рамки; сервис-ориентированная архитектура; повышение уровня обслуживания клиентов; обмен информацией и реагирование в режиме реального времени; наглядный (ясный) уровень цен (ценообразование).

Основные работы по развитию и внедрению ИТС велись в Европе, США и Японии. Экспертами (Towards the Development of Intelligent Transportation Systems, Lino Figueiredo, Isabel Jesus, J. A. Tenreiro Machado, Jose Rui Ferreira, J. L. Martins de Carvalho) условно выделяются три фазы процесса формирования ИТС в этих странах: подготовительная (1930—1980 гг.), технико-экономическое обоснование (1980—1995 гг.) и разработка новой продукции (1995 г. — настоящее время).

A. Подготовительная (1930—1980 гг.). Для первой, подготовительной, фазы развития ИТС были характерны неразвитые технологии и экстенсивное развитие транспортных систем, в частности автомобильных дорог, когда основное внимание уделялось строительству новых, а не развитию старых дорог. Первой системой, которую большинство людей считает "настоящей" ИТС, были электронные сигналы дорожного движения, реализованные в 1928 г. Позже в павильоне GM в 1939 г. на Всемирной выставке в Нью-Йорке была представлена концепция систем автоматизированного шоссе (AHS). В 60-х годах появился первый компьютер, управляющий сигналами дорожного движения в США. С конца 60-х годов до 1970 г. в США была разработана Система электронного руководства маршрута (Electronic Route Guidance Systems, ERGS), которая использовала двустороннюю связь между дорогой и автомобилем для обеспечения движения по маршруту. В 70-х годах была разработана комплексная система управления автомобильным движением (Comprehensive Automobile Traffic Control System, CACS) и информационно-указательная система оповещения водителя (Autofahrer Leit und Information System, ALI) в Японии и Германии соответственно, которые являются динамическими системами сопровождения на маршруте, базирующимися на данных о реальных условиях дорожного движения. На это же десятилетие приходится начало развития микропроцессорных технологий и GPS. Эти технологии сегодня являются основными компонентами многих систем ИТС, однако в то время они еще не были связаны между собой.

B. Технико-экономическое обоснование (1980—1995 гг.). Вторая фаза характеризуется "взрывом" программ развития, субсидируемых частным сектором и правительством, в Европе, Японии и США. Эти программы стали результатом появления базовых технологий и формирования концепции ИТС на предыдущем этапе.

C. Разработка (совершенствование) продукции (1995 г. — настоящее время). Если предыдущая фаза была направлена на формирование соответствующей развитой технической базы и создание национальных стратегий развития ИТС, то третья фаза — это создание новых продуктов. Данный этап развития ИТС продолжается и в настоящее время.

Опыт стран дальнего зарубежья

Япония является одной из первых стран в мире, которая в 1973 г. приступила к проведению исследований по ИТС и реализации комплексной системы управления автомобильным движением. В 80-х и первой половине 90-х годов было реализовано несколько проектов в области ИТС: в 1984 г. создана Система автомобильной коммуникации на дорогах (Road Automobile Communication System, RACS)

Министерства строительства (бывшего), в 1989 г. — Продвинутая (усовершенствованная) мобильная дорожная информационная и коммуникационная система (Advanced Mobile Traffic Information and Communication System, AMTICS) Национального полицейского агентства, а в 1991 г. Министерство транспорта (бывшее) приступило к реализации проекта Продвинутой (усовершенствованной) безопасности автомобиля (Advanced Safety Vehicle, ASV), нацеленного на поощрение научных исследований и разработок в области создания новых технологий безопасности транспортных средств.

В 90-х годах усилия Министерства почты и телекоммуникаций и работа над проектами по стандартизации позволили объединить RACS и AMTICS в Систему автомобильной информации и связи (Vehicle Information and Communication System, VICS). В 1991 г. был организован комитет по содействию VICS, что привело к созданию в 1995 г. Центра VICS. В 1994 г. в Японии в ответ на процессы, происходящие в Европе и США в области продвижения ИТС, было организовано Интеллектуальное общество транспортных средств, дорог и движения (Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society, VERTIS), состоящее из профессоров и экспертов из университетов, промышленности и ассоциаций. В июне 2001 г. общество было переименовано в "ИТС Япония" ("ITS Japan"). Данная организация пользовалась всесторонней, полной поддержкой Национального полицейского агентства, Министерства внешней торговли и промышленности, Министерства транспорта, Министерства почты и телекоммуникаций и Министерства строительства.

VERTIS, а в настоящее время "ИТС Япония", имеет обширную сферу деятельности — проведение исследований и разработок в области ИТС и смежных областях, обмен информацией с Европой и Северной Америкой в целях использования потенциала ИТС, организация Международного конгресса по ИТС (IYS Words Congress) — форума для развития международного сотрудничества и презентации новейших достижений в области ИТС.

В 1996 г. Министерство строительства и двадцать одна крупнейшая компания, в том числе Toyota, Nissan, Honda и Mitsubishi, образовали Ассоциацию Advanced Cruise (Assist Highway System Research, AHSRA) и провели на автодорогах испытания нескольких полностью автоматизированных транспортных средств.

В том же году пять министерств Японии, объединенных в штаб, возглавляемый премьер-министром, с участием академических кругов, промышленности и "ИТС-Япония", начали реализовывать "Комплексный план для ИТС в Японии".

В 2003 г. обществом "ИТС Япония" был подготовлен еще один этапный документ — "Стратегия развития ИТС в Японии", в котором декларируется система трех "нулевых" целей: 1. Япония — зона нулевых потерь на дорогах; 2. Япония — зона нулевых задержек на дорогах; 3. Япония — зона комфортабельных транспортных условий (нулевых неудобств).

В Соединенных Штатах в 1991 г. был принят Акт об эффективности интермодальных наземных перевозок (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, ISTEA), представивший новое видение наземного транспорта Америки. Целью принятия ISTEA было "создать Национальную интермодальную транспортную систему, что является экономически эффективным, экологически чистым, обеспечивает основу для конкуренции нации в глобальной экономике и перемещение людей и товаров энергосберегающим способом". Акт предусматривал, что "Национальная интермодальная транспортная система должна быть адаптирована к "интеллектуальным транспортным средствам", "системам с магнитной левитацией" и другим новым технологиям, где это возможно и экономически целесообразно, с наилучшей сметой расходов, с уделением особого внимания вопросам, касающимся безопасности и методам распределения затрат".

Акт требовал продвижения совместимых стандартов и протоколов для содействия широкому использованию IVHS технологий, разработки методических рекомендаций для эксплуатационных испытаний IVHS и создания информационно-координационного центра. Акт предусматривал необходимость разработки Стратегического плана, который должен был отражать цели, основные этапы и показатели программы IVHS. ISTEA также требовал разработки полностью автоматизированных шоссе и автомобильных систем, которые послужили бы прототипом для будущих полностью автоматизированных систем IVHS. Цель состояла в том, чтобы первая полностью автоматизированная дорога или испытательный трек были пущены в эксплуатацию к концу 1997 г. Согласно Акту разрабатывалась Программа IVHS коридоров для обеспечения эксплуатационных испытаний в условиях "реального мира". В разработке и реализации IVHS технологий могли принимать участие коридоры, отвечавшие определенным транспортным и экологическим критериям.

Другие положения, касающиеся IVHS, включали полномочия на использование консультативных

комитетов для претворения программы IVHS и вопросы выделения грантов государственным и местным органам власти на изучение целесообразности разработки и реализации IVHS технологий.

В 1991 г. был создан Федеральный консультативный комитет при Министерстве транспорта США (Federal Advisory Committee to the U. S. Department of Transportation) — IVHS America (Intelligent Vehicle Highway Systems — Интеллектуальные автомобильные дорожные системы). Его непосредственными организаторами стали Федерация пользователей автомобильных дорог для безопасности и мобильности (Highway Users Federation for Safety and Mobility) и Американская ассоциация государственных должностных лиц по автомобильным дорогам и транспорту (American Association of State Highway and Transportation Officials), Mobility 2000. IVHS America стала некоммерческим научным и образовательным обществом, объединяющим более чем 500 фирм и организаций, занимающихся проблематикой ИТС.

В 1992 г. IVHS America был подготовлен Стратегический план по IVHS в США (Strategic Plan for Intelligent Vehicle-Highway Systems in the United States), цель которого заключалась в руководстве разработкой и развитием IVHS в США. План включал в себя цели и задачи национальной программы IVHS, идентификацию проблем в развертывании новых технологий и пути их решения, роль государственного, частного сектора и научных кругов, курс действий и смету расходов.

Стратегический план предусматривал разработку тактического программного плана для обеспечения координации и интеграции деятельности государственного и частного секторов в области IVHS. Данный документ получил название "Национальный программный план по IVHS" (National Program Plan for IVHS), он разрабатывался и внедрялся DOT совместно с IVHS Америки и заинтересованными представителями общественности. Национальный программный план представлял собой "динамический" документ, т. е. документ, отражающий все изменения в политике правительства, технологиях, рыночных условиях и успехи и неудачи программы. Текущая оценка стала одним из основных элементов процесса планирования программы IVHS и выступила в качестве механизма обратной связи для оценки эффективности программы в деле достижения основных целей и задач IVHS.

В 1994 г. термин IVHS был заменен в Акте 1991 г. на Intelligent Transportation Systems (ITS), соответственно, общество "IVHS America" было переименовано в "ITS America" ("ИТС Америка"). Как уже отмечалось выше, это действие отражало мультимодальный характер новых приложений и акцентировало внимание на технологиях по управлению транспортными средствами.

Одним из ключевых проектов стала Система автоматизированного шоссе (Automated Highway System, AHS), разработанная Национальным консорциумом систем автоматизированного шоссе (National Automated Highway System Consortium, NAHSC), образованным Министерством транспорта США, General Motors, Калифорнийским университетом и другими учреждениями. В рамках этого проекта на дорогах Калифорнии были протестированы различные полностью автоматизированные экспериментальные автомобили. В США развитие ИТС базируется на национальных программах, реализуемых Министерством транспорта.

Таким образом, еще в начале 90-х годов прошлого века в США были начаты широкомасштабные работы по развертыванию национальной ИТС. При этом была определена ведущая роль Минтранса США и созданы структуры федерального уровня для продвижения интегрированной ИТС. Разработана и внедрена система по периодическому обновлению официальных программных документов развития ИТС, которая охватывает все уровни планирования — от стратегического до текущего, гарантируя на законодательном уровне участие государства в исследованиях, разработках и развертывании ИТС.

Китай. В Китае в 1997 г. Министерство коммуникаций приступило к развитию ИТС. Были созданы необходимые лаборатории и Национальный центр инжиниринга и технологий ИТС. В 2000 г. Министерство науки и техники совместно с десятью заинтересованными министерствами учредили национальную группу по координации ИТС. В 2003 г. создан Китайский национальный технический комитет по стандартизации ИТС, а в 2007 г. принята "Стратегия развития ИТС Китая".

Развитие ИТС в Китае осуществляется на плановой основе под полным контролем государства. Соответствующие задания на разработку и внедрение ИТС-сервисов отражаются в пятилетних планах развития экономики.

В настоящее время Китай прилагает усилия по внедрению спутниковых технологий, для чего реализует свою собственную спутниковую навигационную систему "Бэйдоу" (Compass). Согласно планам развития в 2012 г. планируется довести количество спутников до 14 ед., а к 2014 г. — до 34 ед. Спутники будут работать на геостационарной, геосинхронной и околоземной орбитах.

В ходе испытаний "Бэйдоу" была достигнута погрешность координат более 25 м по горизонтали и 30 м по вертикали. В 2011 г. система была протестирована на совместимость с американской системой GPS. "Зафиксированная погрешность составила около 10 м". Процесс развертывания глобальной навигационной системы "Бэйдоу" планируется завершить к 2020 г.

Европейский Союз. Первые проекты в области создания динамических систем сопровождения на маршруте, базирующихся на данных о реальных условиях дорожного движения, были реализованы в Европе еще в 70-х годах прошлого века.

В ходе второй фазы развития ИТС совместными усилиями правительств, компаний и университетов 19 стран была создана Программа эффективного и безопасного движения по дорогам Европы (PROgraM for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety, Prometheus — Программа для дорожного движения в Европе с высокой эффективностью и беспрецедентной безопасностью). Будучи инициированой Европейской автомобильной промышленностью, Prometheus, прежде всего, была направлена на технологические инновации на борту автомобиля, сформулированные в четырех функциональных областях: улучшение информирования водителя, активная поддержка водителя, совместное движение и управление движением/автопарком.

В рамках программы в период между 1987 и 1994 г. были разработаны несколько технологий ИТС. В 80-х годах прошли испытания автономного транспортного средства VaMoRs (Versuchsfahrzeug für autonome Mobilität und Rechnersehen — Экспериментальный автомобиль для автономной мобильности и компьютерного наблюдения) в Мюнхене. В 1987 г. VaMoRs, оснащенный двумя камерами и восемью 16-битными процессорами Intel, а также набором различных сенсоров, преодолел расстояние в 20 км на скорости свыше 90 км/ч. Семь лет спустя машина проекта VaMP (Vertsuchsfahrzeug fuer Autonome Mobilitaet — Passenger, экспериментальный автомобиль для автономной мобильности — пассажирский), оснащенная двумя камерами с разрешением 320 × 240 пикселей, на расстоянии 100 м уже могла распознавать дорожную разметку и положение автомобиля на дороге относительно других машин. Во время испытаний недалеко от Парижа в условиях, имитирующих дорожное движение, автомобиль двигался со скоростью, доходившей до 130 км/ч. На следующий год Mercedes S-Class под надзором команды Дикмана преодолел путь в 1600 км из Мюнхена до Оденсе (Дания). Машина развила максимальную скорость 180 км/ч и, по утверждению самого Дикмана, "95 % времени ехала в полностью автономном режиме". Успех работ немецких исследователей привел к тому, что конструкторы в дальнейшем отказались от идеи автономной машины, использующей сигналы от зарытых в землю кабелей, в пользу видеосенсоров.

В рамках Prometheus был разработан и итальянский проект ARGO, нацеленный на проектирование, разработку и тестирование инновационных решений для транспортных средств будущего. В ходе ARGO был разработан один из первых прототипов, демонстрирующий возможности автоматического управления транспортным средством на дорогах общественного пользования. В нем интегрировались основные, полученные ранее, результаты в областях алгоритмов и архитектур систем управления дорожными транспортными средствами на основе методов машинного зрения. Было разработано, протестировано и настроено несколько решений для автономного перемещения с выбором маршрута движения и обнаружением препятствий.

Программа была продолжена в 1988 г. проектом DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe — Дорожная инфраструктура, предназначенная для обеспечения безопасности автомобиля в Европе) в рамках рамочной программы (Framework Programme, FP). Целью DRIVE было создание Интегрированной среды для автомобильного транспорта (Integrated Road Transport Environment, IRTE) путем использования Телематики автомобильного транспорта (Road Transport Telematics, RTT) для повышения безопасности дорожного движения, снижения негативного экологического воздействия и улучшения использования дорожной инфраструктуры. В 1992 г. Drive I, сфокусированный на "изучении вариантов", был продолжен Drive II, или программой Продвинутая транспортная телематика (Advanced Transportation Telematics, ATT), нацеленной на "подготовку к внедрению". Программа была продолжена в 1995—1996 гг. Drive III, "масштабной пилотной реализацией", частью четвертой Рамочной программы (FP4). Можно выделить семь взаимосвязанных областей, представляющих особый интерес: Управление спросом (Demand Management, DM); Дорожное движение и информация во время поездок (Traffic and Travel Information, TTI); Интегрированное управление системой городского транспорта (Integrated Urban Traffic Management, IUTM); Интегрированное управление междугородним движением (Integrated Inter-Urban Traffic Management, IIUTM); Помощь

водителю и совместное вождение (Driver Assistance sand Cooperative Driving, DACD); Управление перевозками и автопарком (Freight and Fleet Management, FFM); Управление общественным транспортом (Public Transport Management, PTM).

В 1991 г. для координации исследований в рамках Prometheus и DRIVE по инициативе ведущих членов Европейской Комиссии, Министерств транспорта и европейской промышленности была создана некоммерческая организация ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization). Цели ERTICO состоят в содействии координированию усилий по развитию ИТС в Европе от научных исследований до рыночных инвестиций.

В 2006 г. Европейский Союз принял политический документ "Европа в движении. Устойчивая мобильность для нашего континента", в котором выдвинута концепция интеллектуальной мобильности (intelligent mobility).

Предполагается, что в долгосрочном периоде автомобили, поезда или суда должны иметь столь же развитое оборудование связи, навигации и управления, что и самолеты.

Выпуском зеленой книги "TEN-T: Обзор стратегии" в начале 2009 г. Комиссия ЕС инициировала процесс фундаментального пересмотра политики трансевропейской транспортной сети, определив конечной целью своей политики формирование единой мультимодальной сети.

В 2011 г. была выпущена новая "Белая книга" ЕС "Транспорт-2050. Дорожная карта /План создания/ в единое европейское транспортное пространство — на пути к конкурентоспособной и ресурсоэффективной транспортной системе". Данный документ определил основные направления транспортной системы Европы до 2050 г. — содействие независимости от нефти, создание современной инфраструктуры и мультимодальной мобильности при помощи интеллектуального управления и информационных систем.

Особое место в достижении указанных целей отведено ИТС. Поэтому для широкого развертывания ИТС были заблаговременно приняты соответствующие политические и правовые инструменты — План действий по ИТС (действует с декабря 2008 г.) и Директива по ИТС (2010/40/EU) (действует с июля 2010 г.).

Директива по ИТС (2010/40/EU) представляет собой первую общеевропейскую законодательную основу для скоординированного развертывания ИТС на дороге. Директива, таким образом, является важным инструментом для внедрения ИТС, поддерживающая меры, предусмотренные в Плане действий по ITS, совокупностью принудительно применимых нормативных правовых норм и помогает ускорить внедрение инновационных транспортных технологий. Директива направлена на создание совместимых и беспрепятственных услуг ИТС и способствует гармонизации, оставляя государствам — членам ЕС свободу решать, какие именно системы инвестировать. Она устанавливает приоритеты и принципы развертывания ИТС — но это не обязывает государства-члены развертывать системы ИТС или услуги на их территории.

В соответствии с Директивой по ИТС Европейская комиссия должна принять в течение семи лет после вступления директивы в силу обязательные спецификации, затрагивающие совместимость, взаимодействие и преемственность решений ИТС в рамках ЕС. Спецификации будут распространяться на функциональные, технические, организационные вопросы и вопросы оказания услуг в ряде областей. Приоритет отдается дорожному движению и информации для пользователей дорог, системе экстренного реагирования при авариях (eCall emergency system) и интеллектуальной системе парковок грузовиков. Рабочая программа С (2011) 289 (принята 15 февраля 2011 г.) устанавливает сроки подготовки этих спецификаций. Спецификации, принятые в соответствии с Директивой, должны соблюдаться всякий раз при развертывании ИТС в государствах — членах ЕС.

При подготовке спецификаций Комиссия консультируется с экспертами и принимает во внимание рекомендации всех заинтересованных сторон — с учетом существующих норм при необходимости и проведения оценки воздействия с анализом затрат и выгод.

Комиссии будут помогать два органа в реализации Директивы по ИТС: Европейский комитет по ИТС и Консультативная группа по ИТС. Задачей Европейского комитета по ИТС, состоящего из представителей государств — членов ЕС, является предоставление консультаций по программе работы, стандартизация предписаний и принятие возможных руководящих принципов или необязательных рекомендаций. Между тем Консультативная группа по ИТС — с участием представителей заинтересованных сторон, таких, как промышленность, сервис-провайдеры и ассоциации пользователей, поддерживает Комиссию по техническим и бизнес-аспектам внедрения ИТС. Эти две организации смогут внести полезный вклад в подготовку спецификаций, предусмотренных в соответствии с Директивой.

Европейская комиссия работает для ускорения и координации развертывания ИТС в области авто-

мобильного транспорта, в том числе взаимодействия с другими видами транспорта. План действий был принят после больших подготовительных работ и долгих консультаций с заинтересованными сторонами. Его главной задачей является обеспечение совместимости и взаимодополняемости систем, чтобы способствовать непрерывности услуг ИТС и делать это на основе скоординированных и согласованных действий на уровне ЕС. Это не только поможет ускорить развертывание ИТС, это также сделает автомобильный транспорт более стабильным и — не в последнюю очередь — продвинет отрасль ИТС ЕС.

План осуществляется совместными усилиями нескольких служб Европейской комиссии, деятельность которых координируется Генеральным директоратом по мобильности и транспорту (Directorate-General for Mobility and Transport) при непосредственном и активном сотрудничестве четырех других Генеральных директоратов (ГД) Комиссии: ГД по информационному обеспечению и средствам массовой информации, ГД по научным исследованиям и инновациям, ГД по предпринимательству и промышленности и ГД по действиям в защиту климата. Этот план также осуществляется в тесном сотрудничестве с заинтересованными сторонами. Работа по плану шла в ногу с несколькими подготовительными исследованиями, запущенными в начале 2010 г.

Таким образом, развитие ИТС в Европе методологически базируется на системном подходе — формирование ИТС именно как системы, а не отдельных модулей (сервисов). Создание ИТС основывается на модернизации и реинжиниринге действующих транспортных систем. Отсюда следуют важные принципы поэтапного развития и модульности создания ИТС.

Формируются единая открытая архитектура системы, протоколы информационного обмена, формы перевозочных документов, стандартизация параметров используемых технических средств и процедур связи и управления.

Проекты ИТС включены в стратегические документы по развитию транспорта, рамочные программы исследований и разработок Евросоюза, в том числе связанные с использованием глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GALILEO.

В настоящее время в ЕС начали реализовываться коммерческие проекты создания ИТС. По данным ассоциации "ITS America", к 2015 г. мировой объем продаж продукции и услуг ИТС составит более 400 млрд долларов США. Европейский рынок оценивается в 100—130 млрд евро.

Государственно-частное партнерство стало рассматриваться как средство привлечения инвестиций частного сектора в научно-исследовательские работы и развитие ИТС, наряду с правительством, с сохранением ведущей роли последнего в формировании политики и планов развития ИТС. Около 80 % инвестиций в ИТС делаются частным сектором, государство вкладывает 20 % инвестиций в создание транспортной инфраструктуры, на которой ИТС могут развиваться и реализовываться.

Страны СНГ включились в процесс интеллектуализации транспортных систем позднее других государств — на рубеже XX—XXI веков. Это обусловлено объективными факторами: прежде всего, традиционной изолированностью в рамках Советского Союза от зарубежных стран в сфере технического развития, а позднее — экономическим кризисом 90-х годов.

В настоящее время внедрение интеллектуальных технологий в сфере транспорта в странах СНГ идет разными темпами и в основном определяется наличием базовых условий для развития этого процесса, в частности организационных и научных основ.

Лидером в продвижении интеллектуальных транспортных технологий среди стран СНГ на данном этапе является Российская Федерация.

Несмотря на отсутствие конкретной стратегии, определяющей пути и этапность формирования национальной ИТС и организационных структур, возглавляющих и регулирующих этот процесс (основополагающего условия успешного формирования ИТС), в российском транспортном комплексе активно развивается интеллектуализация транспортной сферы — разрабатываются и внедряются отдельные элементы ИТС, отвечающие потребностям современного рынка и насущным проблемам повышения эффективности и безопасности транспортного процесса. Деятельность в этом направлении на государственном уровне не координируется и не регламентируется.

Внедрение интеллектуальных технологий в транспортном комплексе России осуществляется в рамках отдельных видов транспорта и направлено на решение корпоративных задач. Проблема интеграции с другими видами транспорта пока не рассматривается. С учетом определяющей роли в формировании ИТС базового законодательства ведется работа по созданию нормативно-правовой базы для формирования единого информационного пространства и продвижения ИТС-технологий, в част-

ности, разработана Концепция федерального закона "Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации", осуществляется необходимая корректировка нормативных документов, регламентирующих транспортную деятельность.

В стране систематически проводятся транспортные форумы с участием зарубежных специалистов с целью обобщения мирового опыта продвижения ИТС-проектов и обсуждения актуальных практических и теоретических проблем в этой области для корректировки направлений деятельности на национальном уровне. Так, только в течение 2012 г. состоялись два таких форума: II международная научно-практическая конференция по ИТС (Санкт-Петербург, март 2012 г.); IV международный Конгресс по ИТС (Москва, апрель 2012 г.).

Отмечая значение интеллектуализации транспорта как современного стратегического направления его инновационного развития, участники форумов, в частности, отметили актуальность создания нормативной и правовой базы ИТС как основы ее формирования, необходимость дальнейшего развития теоретических основ информатики и интеллектуальных систем, основополагающее значение государственной поддержки и осознанной государственной политики в этой сфере.

Внедрение интеллектуальных технологий в основные направления транспортной деятельности осуществляется как на основе собственных разработок, так и путем адаптации зарубежных технических средств и технологий к условиям работы российских железных дорог.

Достигнутые за последнее десятилетие успехи в сфере интеллектуализации железнодорожного транспорта обусловлены исключительно наличием в стране надежного научного потенциала, сформированного еще в советский период, сохраненного и получившего дальнейшее развитие уже в Российской Федерации. В условиях отсутствия сформулированной стратегии, планов комплексного развития национальной ИТС и необходимых организационных основ ее формирования научные подразделения страны возглавили деятельность по созданию и продвижению интеллектуальных транспортных технологий. Следует особо отметить, что эта деятельность находит реальную поддержку у Правительства РФ.

Достижения последних лет в развитии и продвижении ИТС-технологий в российском транспортном комплексе дают основания предполагать, что при сохранении набранных темпов Россия может в ближайшей перспективе занять заметное место в числе стран, осуществляющих коренные инновационные преобразования в транспортной сфере.

Процесс интеллектуализации транспортной деятельности в остальных странах СНГ, не располагающих необходимыми предпосылками для развития, пока еще не принял формы масштабной и целенаправленной деятельности и реализуется путем внедрения и апробирования отдельных единичных технологий.

Оценивая реальные возможности и перспективы развития процесса формирования ИТС на постсоветском пространстве, необходимо акцентировать внимание на целесообразности учета и использования опыта России, которая за короткий срок достигла ощутимых результатов в этой области благодаря наличию научного потенциала, без которого такой высокоинтеллектуальный процесс, как создание ИТС, просто не может эффективно развиваться.

Странам СНГ, принявшим решение экономического развития в рамках единого пространства и осуществляющим свою перевозочную деятельность в рамках единой транспортной системы (без таможенных барьеров), имеющим идентичную техническую и технологическую транспортную основу, необходимо сотрудничать и в сфере инновационных преобразований, обеспечивающих согласованные технологические и совместимые технические подходы при формировании ИТС.

На современном этапе Россия располагает достаточным набором эффективных технологий по основным направлениям транспортной деятельности и возможностями научного сопровождения инновационных преобразований, которыми имеет смысл воспользоваться другим странам для формирования своей научной базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бекмагаметов М. М.** Интеллектуальные транспортные системы в Республике Казахстан. — Алматы: ТОО "MV Print", 2013. — 408 с.
2. **Бекмагаметов М. М., Бекмагаметова Г. М., Кочетков А. В.** Транспортный коридор ТРАСЕКА "Европа—Кавказ—Азия": состояние и перспективы развития. / Дороги. Инновации в строительстве. Август, 2010. — С. 29—35.

УДК 656.132.039:004

В. А. Максимов, д-р техн. наук, проф., МАДИ,
Д. Г. Суматохин, инж., **В. И. Сарбаев**, д-р техн. наук, проф., МГИУ
E-mail: chizov_nik@mail.ru

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МАРШРУТНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

В статье проведен анализ факторов, определяющих маршрутный расход топлива городских автобусов в эксплуатации.

Ключевые слова: *экспериментальные исследования, эксперты, маршрутный расход топлива, организационные факторы.*

В ходе экспериментальных исследований был проведен обзор и сформирована классификация факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов в процессе эксплуатации (рисунок). В соответствии с разработанной "Методикой априорного ранжирования факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов в эксплуатации" была сделана предварительная оценка и осуществлен выбор факторов, определяющих маршрутный расход топлива городских автобусов.

В ходе указанных исследований была разработана специальная анкета, проведен экспертный опрос и сделана обработка его результатов.

В качестве экспертов привлекались научно-технические и практические работники, по роду своей деятельности связанные с вопросами управления расходом топлива городскими автобусами в эксплуатации. Степень согласованности мнений экспертов определялась по значениям коэффициента конкордации (w), которые для факторов различных уровней находились в пределах от 0,5 до 1,0.

Результаты ранжирования представлены в таблице.

Ее анализ показывает, что среди факторов первого уровня наиболее значимыми являются конструкционные факторы — 33,3 %, далее идут эксплуатационные — 26,7 %, организационные — 20 %, технологические — 13,3 % и природно-климатические факторы — 6,7 %.

Среди конструкционных факторов следует выделить следующие параметры: эффективность конструкции автобуса — 9,5 %, качество применяемых материалов при изготовлении автобуса — 7,9 %, качество проектирования узлов и агрегатов автобуса — 6,3 % и качество сборки автобуса в целом — 4,8 %.

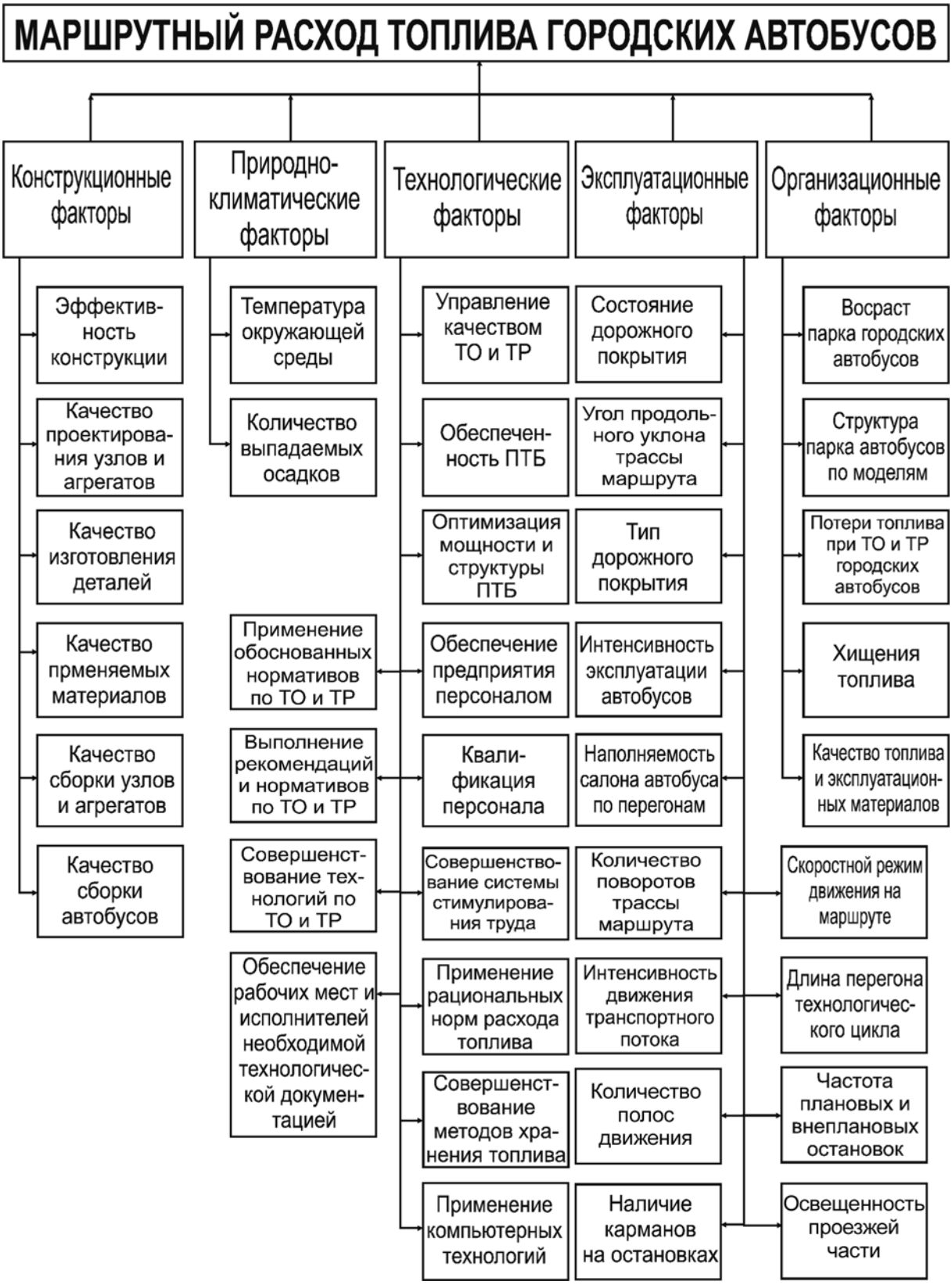
Среди эксплуатационных факторов следует выделить следующие параметры: условия движения — 13,4 % (количество поворотов на маршруте, интенсивность транспортного потока, количество полос движения, наличие карманов на остановках), транспортные условия — 8,8 % (наполняемость салона автобуса по перегонам, скоростной режим движения на маршруте, протяженность перегона технологического цикла, частота плановых и внеплановых остановок) и дорожные условия — 4,5 % (угол продольного уклона трассы маршрута, состояние дорожного покрытия).

Среди организационных факторов следует выделить следующие параметры: возраст парка городских автобусов — 6,7 %, качество топлива и эксплуатационных материалов — 5,3 %, структура парка автобусов по моделям — 4 %, хищения топлива — 2,7 % и потери топлива при ТО и ТР городских автобусов — 1,3 %.

Среди технологических факторов нужно выделить следующие параметры: состояние системы управления расходом топлива в автобусном предприятии — 5,3 % (применение рациональных норм расхода топлива, применение компьютерных технологий при управлении расходом топлива в автобусном предприятии и совершенствование методов хранения топлива), система и организация ТО и ремонта в автобусном предприятии — 4 % (применение обоснованных нормативов по ТО и ТР, выполнение рекомендаций и нормативов по ТО и ТР), состояние ПТБ автобусного предприятия — 2,7 % (обеспеченность ПТБ и управление качеством ТО и ТР) и персонал автобусного предприятия — 1,3 %.

Среди природно-климатических факторов можно выделить температуру окружающей среды — 4,5 %.

Зная весовые характеристики указанных факторов, можно сформировать их перечень, необходимый для моделирования расхода топлива городских автобусов с учетом особенностей работы подвижного состава на маршруте, его возраста, состояния ПТБ и персонала автобусного автотранспортного предприятия.



Классификация факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов в эксплуатации

Результаты ранжирования факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов в эксплуатации

Уровень фактора	Наименование фактора	«Вес» фактора
1.1.	**Конструкционные**	**0,333**
1.1.1.	Эффективность конструкции автобуса	0,095
1.1.2.	Качество проектирования узлов и агрегатов автобуса	0,063
1.1.3.	Качество изготовления деталей автобуса	0,032
1.1.4.	Качество применяемых материалов при изготовлении автобуса	0,079
1.1.5.	Качество сборки узлов и агрегатов автобуса	0,016
1.1.6.	Качество сборки автобуса в целом	0,048
1.2.	**Технологические**	**0,133**
1.2.1.	Состояние ПТБ автобусного предприятия	0,027
1.2.1.1.	Управление качеством ТО и ТР	0,0135
1.2.1.2.	Обеспеченность ПТБ	0,0089
1.2.1.3.	Оптимизация мощности и структуры ПТБ	0,0046
1.2.2.	Система и организация ТО и ремонта в автобусном предприятии	0,04
1.2.2.1.	Применение обоснованных нормативов по ТО и ТР	0,016
1.2.2.2.	Выполнение рекомендаций и нормативов по ТО и ТР	0,012
1.2.2.3.	Совершенствование технологий по ТО и ТР	0,008
1.2.2.4.	Обеспечение рабочих мест и исполнителей необходимой технологической документацией	0,004
1.2.3.	Персонал автобусного предприятия	0,013
1.2.3.1.	Обеспечение предприятия персоналом	0,0022
1.2.3.2.	Квалификация персонала	0,0065
1.2.3.3.	Совершенствование системы стимулирования труда персонала	0,0043
1.2.4.	Состояние системы управления расходом топлива в автобусном предприятии	0,053
1.2.4.1.	Применение рациональных норм расхода топлива	0,0265
1.2.4.2.	Совершенствование методов хранения топлива	0,009
1.2.4.3.	Применение компьютерных технологий при управлении расходом топлива в автобусном предприятии	0,0175
1.3.	**Эксплуатационные**	**0,267**
1.3.1.	Дорожные условия	0,045
1.3.1.1.	Состояние дорожного покрытия	0,0149
1.3.1.2.	Угол продольного уклона трассы маршрута	0,0225
1.3.1.3.	Тип дорожного покрытия	0,0077
1.3.2.	Транспортные условия	0,088
1.3.2.1.	Интенсивность эксплуатации автобусов	0,0059
1.3.2.2.	Наполняемость салона автобуса по перегонам	0,0176
1.3.2.3.	Скоростной режим движения на маршруте	0,0235
1.3.2.4.	Длина перегона технологического цикла	0,0117
1.3.2.5.	Частота плановых и внеплановых остановок	0,0293
1.3.3.	Условия движения	0,134
1.3.3.1.	Количество поворотов трассы маршрута	0,0358
1.3.3.2.	Интенсивность движения транспортного потока	0,0446
1.3.3.3.	Количество полос движения	0,0268
1.3.3.4.	Наличие карманов на остановках	0,0178
1.3.3.5.	Освещенность проезжей части	0,009
1.4.	**Организационные**	**0,2**
1.4.1.	Возраст парка городских автобусов	0,067
1.4.2.	Структура парка автобусов по моделям	0,04
1.4.3.	Потери топлива при ТО и ТР городских автобусов	0,013
1.4.4.	Хищения топлива	0,027
1.4.5.	Качество топлива и эксплуатационных материалов	0,053
1.5.	**Природно-климатические**	**0,067**
1.5.1.	Температура окружающей среды	0,045
1.5.2.	Количество выпадаемых осадков	0,022

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Техническая** эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и дополн. / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др. — М.: Наука, 2001. — 535 с.

УДК 629.113

Нгуен Хунг Мань, аспирант, **А. Н. Ременцов**, д-р педагог. наук, канд. техн. наук, проф., МАДИ,
Нгуен Минь Тиен, канд. техн. наук, преподаватель, Вьетнамский государственный технический университет им. Ле Куй Дона
E-mail: manhmadi@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ВО ВЬЕТНАМЕ

В статье дан анализ некоторых аспектов автомобильного транспорта при перевозке пассажиров во Вьетнаме. Спрос на услуги пассажирских перевозчиков во Вьетнаме растет и будет расти. Повышение эффективности и дальнейшего развития пассажирского транспорта является одной их главных социально-экономических задач на современном этапе Вьетнама.

Ключевые слова: *СРВ — Социалистическая Республика Вьетнам, автомобильный транспорт, перевозки пассажиров.*

Автомобильный транспорт Вьетнама представляет собой наиболее массовый вид транспорта. Ему присущи гибкость доставки и высокая скорость междугородных перевозок. Кроме того, с помощью автомобильного транспорта груз может доставляться "от двери к двери" без дополнительных затрат на перегрузку, а также с необходимой степенью срочности доставки. Этот вид транспорта обеспечивает регулярность поставок.

Однако себестоимость перевозок на автомобильном транспорте весьма высока и в среднем превышает аналогичные показатели речного и железнодорожного транспорта. Высокий уровень себестоимости определяется небольшой грузоподъемностью и, следовательно, производительностью транспортных средств и в связи с этим значительным удельным весом заработной платы в общей сумме эксплуатационных расходов. Резервами снижения себестоимости являются в основном интенсивные факторы — повышение коэффициентов использования пробега автомобилей, грузоподъемности и коммерческой скорости.

В перевозках пассажиров автомобильный транспорт как один из видов наземного транспорта Вьетнама получил наибольшее распространение и занимает ведущее положение. Во Вьетнаме он выполняет более 90 % таких перевозок, а также свыше 75 % объемов внутренних грузовых перевозок (табл. 1), являясь, таким образом, главным перевозчиком для основных секторов экономики.

Ведущая роль автомобильного транспорта при перевозке пассажиров во Вьетнаме предопределена несколькими факторами.

Растущий спрос на перевозки пассажиров

Большинство людей ежедневно затрачивает на транспортные передвижения значительное время. Прежде всего, это касается жителей городов, а также пригородных зон или провинций страны.

С увеличением населения Вьетнама (в 2012 г. — 88,78 млн чел. [6]) растет потребность в пассажирских перевозках в больших городах, таких как Ханой, Хайфон, Даньанг, Хошимин. В последние годы ежегодно на автотранспорте перевозят более 2000 млн пассажиров (табл. 2). Кроме того, увеличению спроса на перевозки способствует повышение качества автотранспортной инфраструктуры и удобная сеть автобусных маршрутов.

Пассажирский транспорт Вьетнама включает в себя общественный транспорт в городе и пригороде и автотранспорт, работающий между провинциями. Маршрутными автобусами общественного транспорта в городском и пригородном сообщении обеспечивается основная часть поездок населения. По проекту развития общественного пассажирского транспорта с 2012 по 2020 г. главным видом общественного транспорта является автобус. К 2015 г. автобусный транспорт должен соответствовать потребностям людей в перевозках на 15 %, а к 2020 г. — на 25 % [2]. С увеличением числа городских жителей, соответствен-

Таблица 1

Объем грузоперевозок СРВ на всех видах транспорта [1, 6]

Годы	Всего, тыс. т.	В том числе				
		автомобильный	железнодорожный	речной	морской	воздушный
2005	**324229,8**	211555,7	8838,1	69966,2	33798,6	104,2
2006	**350393,2**	230962,9	9202,4	74252,6	35856,1	119,2
2007	**378587,9**	259683,9	9098,2	71664,6	38010,8	130,4
2008	**603982,4**	434837,5	8426,9	109585,2	51003,2	129,6
2009	**640335,5**	470009,8	8068,1	117118,4	45001,6	137,6
2010	**714781,7**	533590,4	7980,2	118844,6	54189,8	176,7
2011	**806923,5**	620605,4	7234,2	124508,2	54388,6	187,1
2012	**865880,7**	677143,7	6497	141579,6	40495,9	164,5

Таблица 2

Объем пассажироперевозок СРВ на всех видах транспорта [1, 6]

Годы	Всего, млн. чел.	В том числе				
		автомобильный	железнодорожный	речной	морской	воздушный
2005	**1267,4431**	1076,4668	12,7780	169,3362	2,5321	6,3390
2006	**1386,6212**	1188,2891	11,5593	176,6477	2,8029	7,3222
2007	**1535,4941**	1329,8171	11,4792	182,5339	2,9597	8,7042
2008	**1932,3250**	1744,3080	11,3321	160,5328	5,9672	10,1851
2009	**1989,1300**	1798,9710	11,0406	162,4834	5,8420	10,9724
2010	**2460,4814**	2257,1600	11,5600	171,0800	6,5400	14,1400
2011	**2845,3020**	2621,2020	11,9266	191,8753	6,6717	13,6262
2012	**2862,2570**	2646,6720	12,2160	183,8174	6,0529	13,4987

Таблица 3

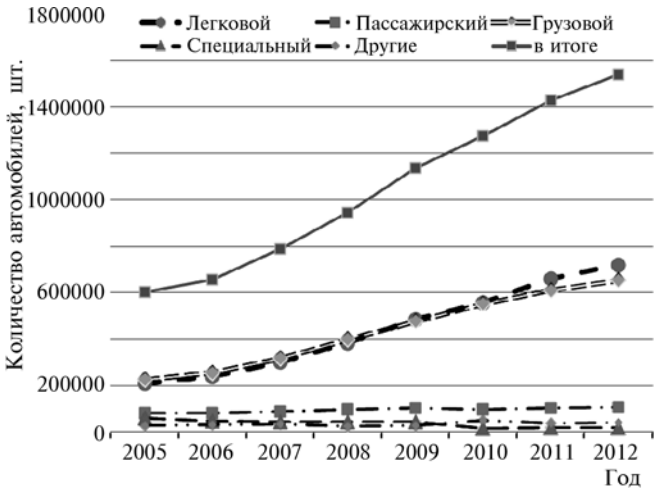
Рост количества маршрутов и объемов пассажирских перевозок автобусами в городе Ханое [3]

Показатели	Годы						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Количество маршрутов	46	56	59	60	65	76	82
Объем пассажирских перевозок (млн пасс.)	296,5	317,1	349,4	402,5	418,3	423,7	445,7
Общее количество рейсов (млн рейсов)	2,7	3,4	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8

но, увеличивался спрос на перевозки. Например, в Ханое возросло количество автобусов, организованы новые маршруты и увеличились объемы перевозок (табл. 3). В Хошимине объем пассажирских перевозок составил 358,3 млн чел. и количество ездок автобусов составило выше 4 млн [3]. Кроме того, увеличивается спрос на пассажирские перевозки автобусами между провинциями.

Увеличение числа личных автотранспортных средств

Наряду с развитием общественного автомобильного транспорта во Вьетнаме с каждым годом растет число легковых автомобилей индивидуального пользования. Резкое возрастание количества автотранспортных средств в больших городах страны существенно влияет на городское развитие и планирование. Рост числа личных автотранспортных средств увеличивает плотность транспортного потока, но количество перевозимых ими пассажиров остается незначительным. Кроме того, это приводит к увеличению пробок на улицах, загрязнению окружающей среды и росту дорожно-транспортных происшествий. В 2012 г. зарегистрированное количество моторизованных транспортных средств составило во Вьетнаме 38 895 849 шт., в том числе автомобилей — 1 539 142 шт. (увеличение на 1,1 % по сравнению с 2011 г.) и мотоциклов — 37 356 707 шт. (увеличение 9,1 %) [5], рисунок.



Рост количества автомобилей по видам перевозок во Вьетнаме

Во многих крупных городах страны пробки на улицах возникают часто. Например, пробки в Ханое в 2011 г. достигали 124 баллов [4]. Растущее число автотранспортных средств оказывает все большее влияние на загрязнение окружающей среды. По статистике центра экологического мониторинга, 70 % загрязнений окружающей среды составляет деятельность транспортных средств. Количество выбросов CO_2 на территории Вьетнама увеличивалось на 25,3 % в год в период 1990—2005 гг. В стране в 2012 г. было зарегистрировано 35 804 случаая ДТП. Число погибших составило 9 509 чел. и раненых 37 736 чел. [1], [4]. Вьетнам остается одной из стран, имеющих наибольшее число погибших в ДТП — 15 чел. на 100 000 населения.

В условиях возрастающих потребностей в пассажирских перевозках проблема повышения эффективности и дальнейшего развития пассажирского транспорта является одной их главных социально-экономических задач на современном этапе [2]. Для решения этой задачи необходимо принять следующие меры.

1. Уменьшать использование личных автотранспортных средств и повышать использование общественного транспорта.

2. Улучшить качество автотранспортной инфраструктуры: качество дорог; рациональная и удобная организация сети автобусных маршрутов для максимального удовлетворения спроса населения на перевозки.

3. Повышать качество услуг, предоставляемых пассажирам: комфорт и безопасность движения, рациональная стоимость, удобное время и т. д.

4. Поощрять граждан заниматься пассажирским автотранспортным бизнесом, развивать частные автотранспортные предприятия.

5. Повышать коэффициент технической готовности транспортных средств пассажирских автотранспортных предприятий на основе совершенствования их производственно-технической базы (ПТБ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Министерство транспорта** — Годовой отчет 2012 г. и план реализации 2013 г. — Ханой, 2013. — 33 с.
2. **Распоряжение Правительства Вьетнама** от 08.03.2012 № 280.2012/QD-TTg об утверждении проекта развития перевозки общественного пассажирского автотранспорта Вьетнама на период 2012—2020 г. — Ханой, 2012. — 8 с.
3. **Институт по стратегии и развитию транспорта** — Министерство транспорта, проект "Исследование эффективных методик экономии топлива для автобусов в больших городах Вьетнама". — Ханой, 2012. — 44 с.
4. **Национальный комитет безопасности дорожного движения** — Годовой отчет 2012 г. — Ханой, 2013. — 25 с.
5. **Главное регистрационное управление Вьетнама** — Совокупные данные об автомобильных средствах в стране. — Ханой, 2012.
6. **Общая Статистика Вьетнама** [Электрон. ресурс] / http://www.gso.gov.vn

"КАМАЗ-ЛИЗИНГ" в числе лучших

По итогам работы в 2013 году группа компаний "КАМАЗ-ЛИЗИНГ" вошла в топ-20 лучших лизинговых компаний, работающих на росскийском рынке.

Рейтинговое агентство "Эксперт РА" совместно с Объединенной Лизинговой Ассоциацией, проводившие исследование деятельности лизинговых компаний в прошлом году, поставили ГК "КАМАЗ-ЛИЗИНГ" на 14-е место. Таким образом, Лизинговая компания "КАМАЗА" улучшила свою позицию.

Пресс-служба ОАО "КАМАЗ"

УДК 629.113.012.3

В. И. Копотилов, канд. техн. наук, проф., Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт)
E-mail: vikopotilov@mail.ru

СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ КОЛЕСА КАК ПРОДОЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Дается анализ версии силы сопротивления качению как продольной реакции опорной поверхности. Показывается ошибочность утверждения, что сила сопротивления качению лежит в пятне контакта, а ее значение определяется кинематическим или свободным радиусом колеса. Указывается на необходимость уточнить физическую природу самой силы и раскрыть механизм ее образования.

Ключевые слова: *качение колеса, сила сопротивления качению, колесная машина, кинематический радиус колеса, динамический радиус колеса, опорная поверхность, касательная реакция.*

В процессе движения транспортной машины ее колеса взаимодействуют с опорной поверхностью, в результате чего возникает сопротивление их перекатыванию. Описание взаимодействия колеса, снабженного пневматической шиной, с дорогой и построение соответствующей теории сопротивления качению — довольно сложная проблема, пока не получившая своего полного научного разрешения. К числу недостаточно разработанных вопросов теории относится и вопрос о самой силе сопротивления качению как интегральной векторной величине, отражающей действие всех факторов, препятствующих перекатыванию колеса по опорной поверхности. В этой связи закономерен вопрос о существующих представлениях об этой силе и механизме ее образования.

Как показывает анализ литературы по теории движения колесных машин, в настоящее время бытует несколько взаимно противоречивых представлений об этой силе. Но основной следует считать версию, согласно которой у ведомых колес силой сопротивления качению P_f является не что иное, как касательная реакция опорной поверхности, а у ведущих — продольная сила, также лежащая в пятне контакта и воздействующая на колесо в направлении, противоположном перемещению колесной машины [1—12 и др.]. При этом считается, что последняя сила, противодействуя окружной силе ведущего колеса, в значительной мере определяет и прикладываемую к нему продольную реакцию опорной поверхности.

Рассмотрим вначале силу сопротивления качению, действие которой испытывает ведомое колесо машины.

Еще с 30—40-х годов прошлого века сложилось мнение, что сопротивление движению ведомого колеса создает продольная реакция дороги, которую и стали считать силой сопротивления качению. Такому представлению о силе сопротивления качению мы обязаны Е. А. Чудакову, Е. Д. Львову, Н. А. Яковлеву и некоторым другим ученым.

Так, например, Е. Д. Львов [13], раскладывая реакцию опорной поверхности на нормальную $Y_к$ и продольную $X_к$ составляющие, прямо указывает, что "составляющая $X_к$ называется силой сопротивления качению направляющего колеса" [13, с. 29]. Величину этой силы он выражает формулой [13, с. 46]:

$$X_к = \frac{M_{сп} - M_{jп}}{r_п}, \qquad (1)$$

где $M_{сп}$ — момент сопротивления качению направляющего (переднего) колеса; $M_{jп}$ — момент сил инерции, прикладываемый к переднему колесу при его неравномерном вращении; $r_п$ — динамический радиус переднего колеса.

Силу сопротивления качению и продольную реакцию ведомого колеса отождествляют Н. В. Диваков и Н. А. Яковлев [2]. Силу сопротивления качению авторы прикладывают в пятне контакта колеса с дорогой и направляют в сторону, противоположную направлению движения автомобиля.

Продольную реакцию X_p опорной поверхности считает силой сопротивления качению ведомого

колеса и Б. С. Фалькевич. Величину этой силы он определяет по формуле [4, с. 18]:

$$X_p = \frac{M_{fP}}{r_д} = Z_р f_р, \qquad (2)$$

где M_{fP} — момент сопротивления качению ведомого колеса; $Z_р$ — равнодействующая элементарных нормальных реакций опорной поверхности, прикладываемая к ведомому колесу; $f_р = \alpha/r_д$ — коэффициент сопротивления качению ведомого колеса (α — снос нормальной реакции $Z_р$, а $r_д$ — динамический радиус колеса).

Точно так же трактуется сила сопротивления качению колеса и в учебнике, выпущенном под ред. В. А. Скотникова [5]. Рассматривая работу ведомого колеса на деформируемой почве, его авторы продольную реакцию почвы называют "...силой сопротивления качению ведомого колеса, т. к. она действует против направления движения" [5, с. 49].

Отождествление силы сопротивления качению ведомого колеса и продольной реакции опорной поверхности можно обнаружить и в других отечественных работах, а также в книгах зарубежных специалистов, в частности Я. Таборека [11].

Для авторов, принимающих продольную реакцию дороги за силу сопротивления качению, главным аргументом является то, что она направлена против хода движения колесной машины и действует на колесо со стороны опорной поверхности (дороги). Для многих сторонников такой концепции этого вполне достаточно, чтобы воспринимать продольную реакцию дороги в качестве силы сопротивления качению. Однако такое понимание силы сопротивления качению полно противоречий.

Во-первых, следует отметить, что физическая природа этих двух сил неодинакова. Продольная реакция дороги — это сила трения сцепления, возникающая между шиной и опорной поверхностью, т. е. внешняя по отношению к колесу сила. Между тем сопротивление качению колеса с пневматической шиной своим происхождением, как принято считать, обязано не столько силам внешнего, сколько внутреннего трения в самой шине (особенно при движении по жесткому основанию, т. е. асфальто- или цементобетонным дорогам).

Во-вторых, момент сопротивления качению колеса M_f, определяющий величину силы M_f, создают вовсе не касательные реакции опорной поверхности, т. е. не силы трения сцепления шины с дорогой, а ее нормальные реакции, возникающие в пятне контакта.

Таким образом, есть все основания полагать, что сила сопротивления качению и продольная реакции дороги — это разные по происхождению и физической природе силы, которые нельзя отождествлять.

Другим аргументом, который учитывается теми, кто отождествляет две указанные силы, является то, что при равномерном качении колеса значение продольной реакции R_x^o численно равно продольному толкающему усилию P_x^o, которое необходимо для обеспечения такого режима качения. Последняя сила (P_x^o) изначально принимается равной силе P_f сопротивления качению. Следовательно, продольная реакция $R_x^o = \alpha R_z/r_д$, по мысли этих авторов, и есть сила P_f сопротивления качению ($R_x^o = P_f$), а ее значение $P_f = P_x^o = R_x^o = \alpha R_z/r_д$. На первый взгляд, этот вывод кажется логичным, тем более, что в такой системе сил (рис. 1) нет места какой-либо отдельной (самостоятельной) силе P_f, которая, наряду с другими силами, прикладывалась бы к ведомому колесу. К тому же из всей совокупности сил, приложенных к ведомому колесу, продольная реакция R_x^o опорной поверхности является *единственной* продольной силой, направленной против движения.

Тем не менее такая аргументация не выдерживает критики, если рассматривается не частный случай, а какой-либо другой режим движения колеса. Так, например, если исходить из качения колеса с ускорением, то сразу обнаруживается, что для такого движения необходимо гораздо бóльшее толкающее усилие, нежели для его равномерного движения ($P_x > P_x^o$). При этом сама продольная реакция превышает ту, которая имеет место при равномерном качении колеса, т. е. $R_x > R_x^o = \alpha R_z/r_д$. В таком случае толкающее усилие P_x не является силой, покрывающей только сопротивление качению, а продольная реакция R_x уже не может выступать в качестве эквивалента силы сопротивления качению. Как видим, источником сомнительного отождествления двух сил (P_f и R_x), носящего чисто методологический характер, оказалось совпадение по модулю и знаку (направлению действия) сил

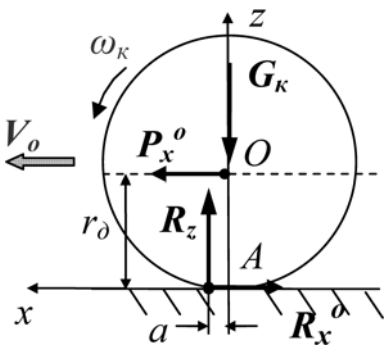


Рис. 1. Система сил, действующих на колесо:

$r_д$ — динамический радиус колеса; $\omega_к$ — угловая скорость вращения колеса; $V_о$ — скорость движения оси вращения колеса; $G_к$ — сила тяжести автомобиля, приходящаяся на колесо; R_x^o и R_z — соответственно продольная и нормальная реакции опорной поверхности; P_x^o — продольное усилие, прикладываемое корпусом автомобиля при ведомом режиме качения; α — смещение вектора нормальной реакции

P_f и R_x, да и то лишь случая равномерного движении колеса. При этом никто не доказал, что не только физическая природа, но и точки приложения, а также линии действия двух указанных сил даже при этом режиме движения одинаковы. В результате из одного частного случая, без достаточных на это оснований, были сделаны далеко идущие обобщения, результатом которых и явилось отождествление двух совершенно разных сил: сопротивления качению P_f и продольной реакции R_x опорной поверхности.

Несколько иначе трактуется сила сопротивления качению ведущих колес. Такую силу принято прикладывать к шине в зоне ее контакта с дорогой и направлять против вектора скорости движения колесной машины. При этом сила сопротивления качению P_f не отождествляется собственно с самой продольной реакцией дороги, вектор R_x которой направлен в сторону движения автомобиля. Однако силу P_f считают тем фактором, который в значительной мере определяет величину этой реакции. Другими словами, силу сопротивления качению ведущего колеса считают по сути условной реакцией опорной поверхности, направленной противоположно реально действующей реакции R_x.

Такой подход к силам сопротивления качению был присущ Е. А. Чудакову, который силы P_f сопротивления качению всегда прикладывал в пятне контакта колес с дорогой и направлял против движения автомобиля [14]. Однако при этом никаких доводов, доказывающих, что силы P_f действительно лежат в пятне контакта колеса с дорогой, Е. А. Чудаков не приводил.

Такой же взгляд на силу сопротивления качению просматривается у других авторов. Так, например, в учебнике Гребнева В. П., Поливаева О. И., Ворохобина А. В. [15] вектор силы сопротивления качению без всяких объяснений прикладывается к колесу в зоне его контакта с почвой и направляется параллельно вектору скорости движения колесной машины.

Аналогичные фигуры умолчания можно встретить и в ряде книг зарубежных авторов. Так, например, Вонг Дж. [12] использует силу сопротивления качению, прикладывает ее к колесу в плоскости дороги и направляет против вектора скорости движения колесной машины, но не дает при этом четкого определения этой силы, а также механизма ее возникновения.

Таким образом, приходится констатировать, что сила сопротивления качению прикладывается к колесу в пятне контакта шины с дорогой, но месту (точке) приложения этой силы не дается никакого теоретического обоснования. Возможно, исходят из того, что сопротивление качению возникает при взаимодействии колеса с дорогой, следовательно, вектор такой силы может лежать только лишь в плоскости их контакта. Однако такое представление о месте приложения силы сопротивления качению находится в противоречии с теоретической механикой. Действительно, если ведущее колесо не буксует, а точка приложения силы P_f лежит в пятне контакта, то мощность такой силы равна нулю. Это объясняется тем, что точка приложения вектора P_f не имеет при этом скорости ($V = 0$), поэтому мощность силы сопротивления качению $N_f = P_f V = P_f 0 = 0$. Однако если сила P_f не совершает работы, то и сопротивление качению не является источником потерь мощности катящегося колеса, а мощность такой силы не должна входить в мощностной баланс как колеса, так и самой колесной машины. Разумеется, все это находится в вопиющем несоответствии с исходными положениями теории качения колеса и противоречит опыту эксплуатации колесных машин. К сожалению, указанный парадокс, связанный с мощностью N_f силы сопротивления качению, принято решать путем вычисления мощности силы P_f в *подвижной* системе отсчета, жестко связанной с самим автомобилем. В такой системе отсчета точка приложения силы P_f, находясь в контакте с опорной поверхностью, действительно имеет скорость $V = \omega_к r_к$, и поэтому приложенная к ней сила P_f развивает мощность $N_f = P_f V = P_f \omega_к r_к$. Однако, строя мощностной баланс движения автомобиля в неподвижной системе отсчета (жестко связанной с дорогой), складывать эту мощность (N_f) с мощностью сил сопротивления подъему или воздуха нельзя, т. к. мощности всех сил должны быть определены только в одной, а не в разных системах отсчета. Это объясняется тем, что в теоретической механике перемещение любого тела относительно (в одной системе отсчета тело покоится, но в другой движется). Следовательно, и работа сил относительна (в одной системе сила совершает работу, но в другой системе эта же сила работу может и не совершать).

Таким образом, если рассматривается движение автомобиля в неподвижной системе отсчета (связанной с дорогой), то вычисление мощности силы P_f, прикладываемой в пятне контакта, по формуле $N_f = P_f V$ **некорректно!!!** И начало этому в свое время положил сам Е. А. Чудаков в работах [14, 16, 17]. Выражая мощность N_f сопротивления качению, автор указывал, что "Эта мощность ... равняется произведению силы P_f сопротивления качению на окружную скорость колеса (при отсутствии буксования)" [16, с. 127]:

$$N_f = P_f V = f G_k \omega r_k, \qquad (3)$$

где V — окружная скорость колеса; ω — угловая скорость вращения колеса; r_k — кинематический радиус.

Точка колеса, к которой прикладывается сила P_f, имеет окружную скорость, о которой говорит Е. А. Чудаков, лишь только в том случае, если движение колеса рассматривается в подвижной системе отсчета,

которая поступательно перемещается вместе с автомобилем. В неподвижной же системе отсчета ее скорость равна нулю. При этом следует обратить внимание на то, что в подвижной системе отсчета мощность силы P_f положительна, т. к. векторы P_f и V совпадают по направлению, в то время как в неподвижной системе отсчета мощности всех сил сопротивления движению, например воздуха, всегда отрицательны. Это еще раз указывает на неправомерность использования формулы (3) для вычисления мощности силы P_f в неподвижной системе отсчета.

Рассмотрим другой важнейший аспект силы сопротивления качению — формулу, определяющую ее значение.

Как показывает анализ, практически все исследования силы P_f связаны с определением и оценкой ее модуля, величину которой определяют в виде отношения момента сопротивления качению к радиусу колеса (r):

$$P_f = M_f/r. \qquad (4)$$

В основе всех формул, которые положены для установления силы сопротивления качения колеса, независимо от ее трактовки, лежат более или менее одни и те же представления о причинах этого сопротивления. В работах Е. А. Чудакова [14, 16, 17], Г. В. Зимилева [18], В. И. Кнороза [19], В. А. Петрушова [20], Р. В. Вирабова [11, 22 и др.], А. И. Гришкевича [23], Г. А. Смирнова [24], В. А. Петрова [6, 8] и многих других специалистов в области механики колесных машин утверждается, что сопротивление качению колеса связано, прежде всего, с гистерезисными явлениями в самой шине, которые порождают продольное смещение центра давления шины относительно центра пятна контакта и образование плеча α, на котором вектор нормальной реакции дороги R_z образует относительно оси вращения момент сопротивления качению, равный $M_f = R_z\alpha$ (см. рис. 1). Указанный момент M_f как фактор сопротивления качению колеса очевиден для всех и не вызывает сомнений. Гораздо сложнее обстоит дело с формулой (4), связывающей этот момент с модулем силы сопротивления качению.

В одних работах [4, 5, 13, 25, 26, 27, 28, 29] при определении силы сопротивления качению момент M_f делят на динамический (силовой) радиус $r_д$ колеса, в других [14, 21, 30, 31, 32] на кинематический (радиус качения) $r_к$, в третьих [23, 24, 33, 34] на кинематический радиус "без скольжения", в четвертых [6, 7, 35, 36] на кинематический радиус $r_{кс}$ в свободном режиме качения, в пятых [8, 34, 37, 38] на радиус $r_к$ качения в ведомом режиме, а в шестых [32, 39] на свободный радиус r_0 колеса. При этом некоторые специалисты считают, что возможно использование разных радиусов колеса и этот выбор определяется не принципиальными соображениями, а лишь удобством вычисления [40].

Как видим, разногласия авторов связаны не с самой формулой исчисления силы (4), а исключительно с выбором радиуса колеса (r). При этом основное разногласие вызвано противопоставлением двух радиусов колеса: кинематического и динамического. Причем те, кто исходит из уравнения мощностей, устанавливает силу сопротивления качению посредством кинематического радиуса (P_f) = $M_f/r_к$, а другие получают силу $P_f = M_f/r_д$ из уравнения крутящих моментов. При этом как те, так и другие не рассматривают сам механизм ее образования, а вводят силу P_f, руководствуясь формальными соображениями, т. е. уравнением мощностей или крутящих моментов.

На наш взгляд, отсутствие одной общепринятой формулы, определяющей значение P_f, уже само по себе является свидетельством отсутствия в теории качения колеса твердых научно обоснованных представлений о самой силе сопротивления качению. При этом некоторые авторы [16, 17, 19, 41 и др.], чтобы избежать решения проблемы выбора радиуса колеса, в качестве основополагающей принимают не формулу (4), а формулы, в которых силу сопротивления качению определяют как произведение осевой нагрузки G_k или нормальной реакции R_z опорной поверхности и коэффициента сопротивления качению f, т. е.:

$$P_f = fG_k, \qquad (5)$$

или

$$P_f = fR_z. \qquad (6)$$

Однако из теоретической механики известно, что такие формулы оценки сопротивления качению не имеют самостоятельного значения, а являются лишь следствием формулы (4). Действительно,

$$P_f = M_f/r = (\alpha R_z)/r = (\alpha/r)R_z = fR_z = fG_k, \qquad (7)$$

где $f = \alpha/r$ — коэффициент сопротивления качению.

Ясно, что формулы (5) и (6) сами по себе не решают проблемы, так как коэффициент $f = \alpha/r$ — это производная от двух параметров: плеча (α) нормальной реакции и соответствующего радиуса (r) колеса.

В этой связи весьма полезно оценить возможность применения того или иного радиуса и проанализировать те аргументы, которые иногда выдвигаются в их пользу или, наоборот, против их применения.

На наш взгляд, при определении величины силы сопротивления качению по формуле (4) наиболее оправдано использование динамического (силового) радиуса колеса, так как $r_д$ — это расстояние между осью вращения колеса и опорной плоскостью, т. е. это плечо для всех продольных сил, лежащих в опорной плоскости, и всех продольных сил, прикладываемых к

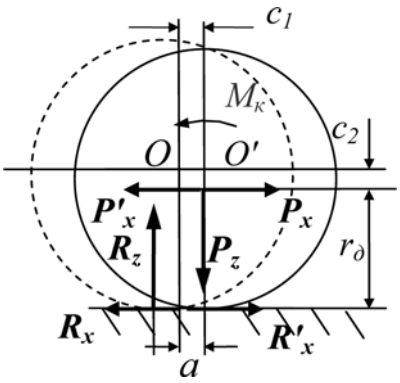


Рис. 2. Система сил, действующих на колесо при его смещении:

$r_д$ — динамический радиус колеса; c_1 и c_2 — соответственно вертикальное и продольное смещения оси ведущего колеса; $M_к$ — крутящий момент, подводимый к колесу; P_z — сила тяжести автомобиля, приходящаяся на колесо; R_x и R_z — соответственно продольная и нормальная реакции опорной поверхности; P_x — продольное усилие, прикладываемое корпусом автомобиля при ведомом режиме качения; α — смещение вектора нормальной реакции

его оси. Однако можно встретить возражения относительно использования динамического радиуса.

Так, например, В. А. Петров утверждает [35], что выражать силу сопротивления качению в виде отношения момента сопротивления качению к динамическому радиусу колеса означает заведомо допускать неточность, поскольку такая формула не учитывает обусловленные продольными силами смещения c_1 и c_2 оси колеса (рис. 2), которые создают дополнительные моменты [35].

На наш взгляд, такой аргумент надуман и не имеет под собой никаких оснований. Если эти смещения имеют место и вызывают дополнительные моменты сопротивления качению, то они автоматически учитываются соответствующими изменениями параметров плеча a и динамического радиуса $r_д$.

Возможность же использования в формуле (4) других радиусов вызывает значительные сомнения. Так, например, кинематический радиус — это условная величина, которая, строго говоря, к качению деформирующегося колеса не имеет никакого отношения и заимствована Е. А. Чудаковым из кинематики плоскопараллельного движения твердого тела. Вводя этот параметр, Е. А. Чудаков реальное деформируемое колесо подменил некоторым условным абсолютно твердым телом (диском), радиус которого в тот или иной момент времени определяется соотношением линейной скорости перемещения его оси к мгновенной угловой скорости вращения. Такое колесо имеет точечный контакт с опорной поверхностью и катится по ней без всякого проскальзывания, т. е. в режиме "чистого" качения. Ясно, что такая модель не имеет ничего общего с качением реального автомобильного колеса, снабженного пневматической шиной, т. к. такое колесо не имеет и по определению не может иметь, во-первых, никаких гистерезисных потерь (это ведь "абсолютное твердое тело"), а во-вторых, механических потерь, связанных с проскальзыванием по опорной поверхности (т. к. у него "абсолютно чистое" качение).

Во-вторых, величина кинематического радиуса в зависимости от режима качения колеса претерпевает большие изменения. Они могут быть особенно велики при переходе колеса в ведущий или тормозной режим качения. Если кинематический радиус колеса используется в качестве плеча силы сопротивления качению и для вычислении работы этой силы, то было бы логично при этом в уравнении мощностного баланса колеса учитывать ту работу, которая совершается осевой нагрузкой $G_к$ вследствие изменения $r_к$, т. е. высоты точки приложения этой силы относительно опорной поверхности. Однако эту работу силы тяжести $G_к$, вопреки логике, никто не учитывает. Кроме того, из уравнения мощностного баланса было бы логично исключить работу сил трения скольжения, так как колесо, ось которого располагается на высоте, равной $r_к$, по определению перекатывается *без всяких проскальзываний или буксований*. Однако и эту работу никто из тех, кто использует кинематический радиус, в расчет не принимает.

В-третьих, следует иметь в виду, что кинематический радиус колеса — это отвлеченная величина, связывающая скорость оси колеса с его угловой скоростью вращения, т. е. чисто кинематический параметр. Все силы (в том числе и равнодействующие), передаваемые колесу твердой опорной поверхностью и корпусом (рамой), прикладываются в пятне его контакта с дорогой или к оси вращения. Расстояние между осью вращения и продольными силами, лежащими в указанном пятне контакта, характеризуется динамическим радиусом, который для всех сил является плечом, определяющим величину их момента относительно оси вращения или поперечной оси, лежащей в плоскости пятна контакта. Кинематический же радиус плечом этих сил не является, поэтому все моменты сил, полученные умножением реальных сил на кинематический радиус, — это *отвлеченные величины*, не имеющие ничего общего с реальными моментами, действующими на колесо. Точно так же можно охарактеризовать и силы, полученные делением реальных моментов, прикладываемых к колесу, на кинематический радиус (о чем уже говорилось выше). И неслучайно формула $P_f = M_f/r_к$ работает удовлетворительно лишь только тогда, когда $r_к$ близок к $r_д$. Однако если различие радиусов $r_к$ и $r_д$ становится большим, то неправомерное использование кинематического радиуса вместо динамического становится особенно очевидным. Приведем пример.

Когда колесная машина стоит на месте, а ее ведущие колеса буксуют (характерное явление при

эксплуатации машины в гололед), линейная скорость перемещения колес $V = 0$, но их угловая скорость вращения $\omega_к \neq 0$. В таком случае кинематический радиус ведущих колес машины $r_к = 0$. Но, если исходить из формулы $P_f = M_f/r_к$, сила сопротивления качению каждого буксующего колеса устремляется в бесконечность:

$$P_f = \lim(M_f/r_к) = \lim(M_f \omega_к/V) \to \infty.$$

Очевидно, что такого роста силы сопротивления качению нет и быть не может. Таким образом, если в формуле (4) вместо динамического радиуса используется кинематический, то может возникать вопиющее несоответствие силы сопротивления качению с ее реальными значениями.

Не желая отказаться от использования кинематического радиуса и тем самым решить указанный парадокс, некоторые специалисты, например Р. В. Вирабов [21, 22] и Ю. В. Пирковский [38], не нашли ничего лучшего, как объявить силу P_f "условной" или "фиктивной".

Так, Р. В. Вирабов признавая, что при $V \to 0$ сила сопротивления качению P_f конечно же не может устремляться к бесконечности, объясняет это тем, что "...полученный результат является лишь следствием приложения фиктивной ... силы сопротивления качению к оси колеса" [21]. Таким образом, Вирабов Р. В. указанный абсурд объясняет не тем, что сила P_f изначально определена неправильно, а тем, что она якобы "фиктивная", которой, как полагает Р. В. Вирабов, позволительно быть какой угодно.

Попытки уйти от этого парадокса предприняли Ю. В. Пирковский, В. А. Петров и В. А. Петрушов.

Первый предложил скорректировать радиус ведущего колеса, т. е., несмотря на то что колесо фактически работает в ведущем режиме, делить момент M_f сопротивления качению на радиус $r_{ко}$ качения колеса ... в ведомом (???) режиме [38]. Логика Ю. В. Пирковского предельно проста: так как ведомое колесо, в отличие от ведущего, никогда не буксует на месте и его радиус $r_{ко} \neq 0$, то и сила сопротивления качению ведущего колеса, вычисленного по формуле $P_f = M_f/r_{ко}$, никогда не примет бесконечно большого значения.

Второй, с этой же целью, попытался доказать [6], что момент сопротивления качению следует делить на радиус $r_{кс}$ качения колеса в так называемом свободном режиме качения, который у ведущего колеса одиночной колесной машины практически не реализуем.

Однако при использовании как первого ($r_{ко}$), так и второго радиуса ($r_{кс}$) возникает вполне резонный вопрос: силу сопротивления качению в каком режиме качения выражает такая лишенная всякой логики формула, т. е. ведомом, свободном или все-таки ведущем? На наш взгляд, выражать же силу сопротивления ведущего колеса через его кинематический радиус в совершенно другом режиме (ведомом или свободном), просто нелогично, так как в таком случае в одной формуле соединяются два совершенно разных режима качения одного и того же колеса, в результате чего получается величина силы, не имеющей ясного физического смысла.

В. А. Петрушов, в отличие от двух выше указанных авторов, предложил не исправлять формулу силы сопротивления качению, т. е. не заменять кинематический радиус качения колеса в ведущем режиме на другие радиусы, а попросту ограничить величину $r_к$, исходя из условия его качения "без проскальзывания" [34]. Таким образом, В. А. Петрушов, признавая, что при значительном отклонении кинематического радиуса от динамического формула (4) неработоспособна, предложил сугубо формальное, также не имеющее никакого научного обоснования решение. К сожалению, такой же подход к определению силы P_f нашел отражение и в стандарте [33]. К сказанному добавим, что указанное ограничение на радиус качения колеса не решает проблему определения силы P_f в принципе, так как в этом случае остается без ответа вопрос о том, как все-таки следует определять силу сопротивления качению, когда колесо проскальзывает или пробуксовывает.

Отметим, что рассмотренный выше парадокс — не единственный, который возникает, если силу сопротивления ведущего колеса определяют посредством кинематического радиуса. Неправомерность использования кинематического радиуса обнаруживается и при другом предельном состоянии ведущего колеса, а именно при трогании с места.

В период нагружения колеса крутящим моментом, предшествующим моменту его трогания с места, угловая и линейная скорость колеса равны нулю ($\omega = 0$, $V = 0$). В этот период радиус колеса $r_к = 0/0$ — величина математически неопределенная. Следовательно, математически неопределенной является и сила сопротивления качению. Однако практически это не так, и сила сопротивления качению принимает вполне конкретное значение, при превышении которого и начинается процесс его качения. Заметим, подобный казус не возникает, если сила сопротивления качению определяется не кинематическим, а его динамическим радиусом.

Еще более сомнительным кажется использование в формуле (4) свободного радиуса колеса. Выдвигаемые же при этом соображения [40], что это "более удобно", нельзя отнести к научным аргументам.

Таким образом, ясно, что формула $P_f = M_f/r_д$, в отличие от $P_f = M_f/r_к$, имеет гораздо больше оснований на существование, т. к. получаемая при этом сила P_f имеет ясный физический смысл.

Подведем основные итоги.

1. Концепция силы сопротивления качению как продольной реакции опорной поверхности как для

ведомого, так и для ведущего колеса не имеет под собой удовлетворительного научного обоснования. До сих пор не раскрыт механизм образования силы, фактически не известны место ее приложения и линия действия.

2. Отсутствует единая научно обоснованная формула, определяющая значение силы сопротивления качению. Существующие формулы, выражающие численное значение силы сопротивления качению в виде отношения момента сопротивления к различным радиусам колеса, противоречат друг другу и не имеют строгой научной основы. Особенно большое сомнение вызывает использование при этом кинематического радиуса (и его разновидностей), а также свободного радиуса колеса.

3. Отсутствие научно обоснованной формулы, точки приложения и линии действия не позволяет воспринимать силу сопротивления качению колеса как полноценную векторную величину, адекватно характеризующую взаимодействие колеса с опорной поверхностью.

4. Чтобы правильно определить силу сопротивления качению, прежде всего требуется уточнить физическую природу самой силы и, строго опираясь на основные положения теоретической механики, раскрыть механизм ее образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Львов Е. Д.** Теория тракторов: Учебник для вузов. — М.: Машгиз, 1960. — 252 с.
2. **Диваков Н. В., Яковлев Н. А.** Теория автомобиля. — М.: Высшая школа, 1962. — 300 с.
3. **Беспятый Ф. С., Троицкий И. Ф.** Конструкция, основы теории и расчета трактора. — М.: Машиностроение, 1972. — 502 с.
4. **Фалькевич Б. С.** Теория автомобиля. — М.: Машгиз, 1963. — 239 с.
5. **Основы теории и расчета** трактора и автомобиля / Под ред. В. А. Скотникова. — М.: Агропромиздат, 1986. — 383 с.
6. **Петров В. А.** Уточнение силового баланса самоходной машины на базе развития теории качения пневматического колеса и ее практическое приложение // Тракторы и сельхозмашины. — 1991. — № 7. — С. 17—19.
7. **Петров В. А.** Основы теории качения пневматического колеса // Вестник машиностроения. — 1986. — № 2. — С. 40—44.
8. **Петров В. А.** Узловые вопросы теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. — 1986. — № 8. — С. 18—22.
9. **Работа автомобильной шины.** Под ред. В. И. Кнороза. — М.: Транспорт, 1976. — 238 с.
10. **Тарасик В. П.** Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
11. **Таборек Я.** Механика автомобиля. Пер. с англ. Под ред. В. Ф. Родионова. — М.: Гостехиздат, 1960. — 207 с.
12. **Вонг Дж.** Теория наземных транспортных средств. Перевод с англ. М.: Машиностроение, 1982. — 284 с.
13. **Львов Е. Д.** Теория тракторов: Учебник для вузов. — М.; Машгиз, 1960. — 252 с.
14. **Чудаков Е. А.** Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 463 с.
15. **Гребнев В. П., Поливаев О. И., Ворохобин А. В.** Тракторы и автомобили: Теория и эксплуатационные свойства. — М.: КНОРУС, 2011. — 264 с.
16. **Чудаков Е. А.** Качение автомобильного колеса // Труды Автомобильной лаборатории ИМ АН СССР, вып. 9. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1948. — 200 с.
17. **Чудаков Е. А.** Качение автомобильного колеса. — М.: Машгиз, 1947. — 70 с.
18. **Зимилев Г. В.** Теория автомобиля. — М.: Воениздат, 1957. — 455 с.
19. **Работа автомобильной шины.** Под ред. В. И. Кнороза. — М.: Транспорт, 1976. — 238 с.
20. **Петрушов В. А., Шуклин С. А., Московкин В. В.** Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. — М.: Машиностроение, 1975. — 225 с.
21. **Вирабов Р. В.** Об оценке сопротивления качению упругого колеса по жесткому основанию // ИВ: Машиностроение, 1967, № 7. — С. 93—98.
22. **Вирабов Р. В.** Об оценке сопротивления качению колеса с пневматической шиной // Вестник машиностроения. — 1987. — № 7. — С. 46—50.
23. **Гришкевич А. И.** Автомобили: теория. — Минск: Вышэйшая школа, 1986. — 208 с.
24. **Смирнов Г. А.** Теория движения колесных машин: Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.
25. **Кутьков Г. М.** Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. — М.: Колос, 2004. — 504 с.
26. **Тракторы:** Теория: Учебник для вузов / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
27. **Кравец В. Н.** Теория автомобиля: Учебное пособие. — Нижний Новгород: НГТУ, 2007. — 368 с.
28. **Многоцелевые гусеничные и колесные машины.** Теория: Учебное пособие. Под общей ред. проф. В. П. Бойкова. Минск: Навое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. — 543 с.
29. **Шалягин В. Н.** Транспортные и транспортно-технологические средства повышенной проходимости: Теория рабочих процессов и системное проектирование. — М.: Агропромиздат, 1986. — 254 с.
30. **Иларионов В. А., Морин М. М., Шейнин А. М.** Теория автомобиля. — М.: Автотрансиздат, 1960. — 192 с.
31. **Гидов Г. И., Петренко А. М.** Специальные транспортные средства: Теория. Учебник для вузов. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2006. — 215 с.
32. **Беспятый Ф. С., Троицкий И. Ф.** Конструкция, основы теории и расчета трактора. — М.: Машиностроение, 1972. — 502 с.
33. **ГОСТ 17697—72** Автомобили. Качение колеса. Термины и определения.
34. **Петрушов В. А., Московкин В. В., Евграфов А. Н.** Мощностной баланс автомобиля. — М.: Машиностроение, 1984. — 160 с.
35. **Петров В. А.** Современная теория качения пневматического колеса и ее практическое приложение // Автомобильная промышленность. — 1993. — № 4. — С. 14—18.
36. **Агейкин Я. С., Вольская Н. С.** Теория автомобиля: Учебное пособие. — М.: МГИУ, 2008. — 318 с.
37. **Петрушов В. А.** О качении эластичного колеса по твердой опорной поверхности // Тр. НАМИ, вып. 57, 1963. — С. 3—29.
38. **Пирковский Ю. В.** Некоторые вопросы качения автомобильного колеса // Автомобильная промышленность. — 1965. — № 12. — С. 26—29.
39. **Армейские автомобили:** ч. 1. Теория. Под ред. А. С. Антонова. — М.: Воениздат, 1970. — 526 с.
40. **Петрушов В. А.** Некоторые пути построения технической теории качения // Тр. НАМИ, 1963, вып. 61. — С. 3—56.
41. **Кнороз В. И., Кленников Е. В**. Шины и колеса. — М.: Машиностроение, 1975. — 184 с.

УДК 629110321.012

Т. Н. Микулик, инж., **Г. Н. Рейзина**, д-р техн. наук, Белорусский национальный технический университет
E-mail: greizina@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИДЕНЬЯ НА ВИБРОНАГРУЖЕННОСТЬ ОПЕРАТОРА (ВОДИТЕЛЯ)

Целью данной работы являлись теоретические и экспериментальные исследования влияния колебаний на оператора (водителя). Полученные результаты позволяют оценить упругодемпфирующие характеристики сиденья, сложность восприятия колебаний водителем.

Ключевые слова: *подвеска сиденья, вибронагруженность, индекс напряжения, физиологическое состояние оператора (водителя).*

С целью нормализации условий труда испытателя-водителя тракторов "Беларус" были исследованы характеристики колебательного процесса рабочего места, позволяющие оценить возможность виброзащиты от колебаний и определить характеристики виброизолирующей подвески. Основное значение имеет частота и демпфирование низкочастотной составляющей. Отношение перемещений и ускорений масс водителя и основания кабины при возмущении со стороны дороги позволяет оценить влияние собственной частоты ω_c (жесткость сиденья c_c) на колебания оператора.

На рис. 1 приведены кривые, полученные в результате моделирования колебаний системы "оператор—сиденье" для низкочастотной составляющей при переезде единичной (*а*) и периодической (*б*) неровностей.

При переезде единичной неровности, то есть при $\omega_c = (0{,}5 - 1{,}8)\omega_к$, отклонения сиденья водителя превышают перемещения основания кабины, а при периодических неровностях упругий элемент сиденья позволяет уменьшить колебания водителя только для случая $\omega_c < 0{,}8\omega_к$. Аналогичная зависимость прослеживается и для отношения ускорений оператора на сиденье.

Из анализа полученных амплитудно-частотных характеристик в результате моделирования четырехмассовой системы "оператор—сиденье—остов—колесо" определено, что наибольшие всплески амплитуд соответствуют низкочастотному диапазону около 1,5 Гц и высокочастотному 7—10 Гц. Увеличение амплитуд при частотах 2,8 и 7,6 Гц является следствием подрессоривания кабины и сиденья.

Наибольший уровень вертикальных ускорений наблюдается на рабочем месте оператора, что указывает на достаточно большую жесткость упругих элементов кабины.

При частоте 3,2 Гц возникает второй всплеск амплитуд перемещений. С дальнейшим увеличением частоты возмущений амплитуды колебаний уменьшаются по сравнению с амплитудой возмущения, что объясняется демпфированием (поглощением) шин. На частоте 10—11 Гц амплитуды колебаний, особенно амплитуда остова, значительно увеличиваются: в 1,5—1,7 раза по сравнению с амплитудами возмущений.

На сиденье при частоте 7,5 Гц продольные колебания достигают 0,8*g*, при дальнейшем увеличении частоты — заметно снижаются. Данные результаты исследований позволяют сделать предварительные выводы:

1) в принятой модели подрессоривания на рабочем месте оператора наблюдаются три резонансных режима по перемещениям, наибольший резонанс — в диапазоне 1,4—1,8 Гц, когда амплитуды перемещений кабины увеличиваются в 2,4 раза, а на сиденье оператора — в 2 раза;

2) максимальный уровень вибронагруженности по вертикальным ускорениям соответствует частоте 9—9,5 Гц, при амплитуде возмущений 5 см на полу кабины ускорения 0,8*g*, а сиденья оператора 1,2*g* (рис. 2).

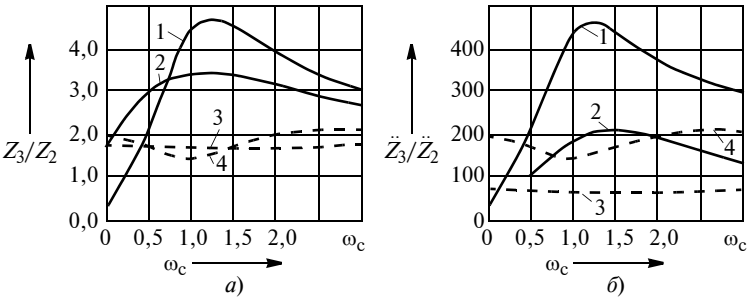


Рис. 1. Изменение амплитуд колебаний водителя (сплошные линии) z_3 и основания кабины (штриховые линии) z_2 в зависимости от отношения частот:

а — перемещения; *б* — ускорения; *1* и *4* — при периодическом возмущении; *2* и *3* — при единичном

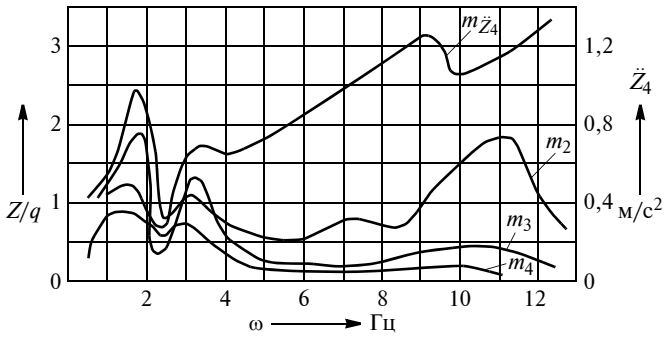


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики отношений перемещений масс m_2, m_3, m_4 к возмущению и ускорение массы m_4

В настоящее время существует ряд критериев, учитывающих как интенсивность, так и частоту колебаний, действующих на оператора (водителя). Международная организация по стандартизации предлагает оценивать вибронагруженность с помощью среднеквадратических ускорений $\sigma_{\ddot{z}}$ водителя на сиденье, приведенных к полосе частот 4—8 Гц:

$$\sigma_{\ddot{z}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_i k_i^2},$$

где D_i — дисперсия ускорений водителя на сиденье i-й октавной полосы; k_i — коэффициенты приведенных октавных полос в диапазонах 2—4, 4—8, 8—16, 16—31,5 Гц для вертикальных ускорений соответственно равны 0,6; 0,85; 1; 0,71; 0,355 [1, с. 332].

Оценка ощущений по вибронагруженности основана на предположении [2], что колебания, действующие на оператора (водителя), зависят от величины мощности, подводимой к основанию сиденья:

$$W = \lim_{t \to \infty} \frac{1}{t} \int_0^t (P(t)v(t))dt,$$

где $P(t)$ — сила, действующая на оператора; $v(t)$ — скорость колебаний основания сиденья.

Так как состояние оператора (водителя) и его ощущения зависят в основном от частоты колебаний, Р. В. Ротенберг [2, 3] предлагает оценивать поглощаемую мощность учитывая среднеквадратическое ускорение и направление: вертикальное, продольное и поперечное:

$$W_c = \sum_{i=1}^{n} k_{zi}(\omega)\,\sigma_{ci}^2 .$$

Полная энергия (эквивалентная вибронагруженности), подводимая к сиденью водителя и определяющая его ощущения:

$$W_c = k_{ki}\sigma_{\ddot{z}_{ki}}^2 + k_{zci}\sigma_{\ddot{z}_{ci}}^2 + k_{xi}\sigma_{\ddot{x}_{ci}}^2 + k_{yi}\sigma_{\ddot{y}_{ci}}^2 ,$$

где k_{ki}, k_{zci}, k_{xi}, k_{yi} — весовые коэффициенты, учитывающие частоту воздействия и направление колебаний [1]; $\sigma_{\ddot{z}_{ki}}^2$ — вертикальная составляющая среднеквадратического ускорения, передаваемая оператору от пола кабины; $\sigma_{\ddot{z}_{ci}}$ — вертикальная составляющая среднеквадратического ускорения, передаваемая оператору через сиденье; $\sigma_{x_{ci}}$, $\sigma_{y_{ci}}$ — продольные и поперечные составляющие среднеквадратического ускорения, передаваемые через сиденье.

Ощущения человека при колебаниях от 0,5 до 80—100 Гц, направленных вдоль человеческого тела (вертикальной, продольной, поперечной), оценивались по кривым, приведенным на рис. 3.

Известно, что мощность колебаний, соответствующая комфорту, отвечает значениям 0,2—0,3 Вт, предельно допустимая — 6—10 Вт.

С другой стороны, мощность, поглощаемая водителем (оператором) при колебаниях, действует на его физиологическое состояние, параметрами которого являются частота сердечных сокращений ЧСС, вариационный размах пульса ВР, амплитуда моды сердечного ритма АМо, как результат — индекс напряжения регуляторных систем ИН, то есть W(4, ВР, АМо, ИН). Авторы предлагают рассматривать поглощаемую мощность с учетом вышеуказанных факторов на основе математического планирования эксперимента.

Определяя вибронагруженность, подводимую к оператору, для трактора "Беларус-3022ДВ" с учетом коэффициентов усвоения на рис. 4, для $\omega = 1{,}5$ Гц, $\sigma_{\ddot{z}_k} = 1{,}5$ м/с², $\sigma_{\ddot{z}_c} = 1{,}2$ м/с², $\sigma_{\ddot{x}_c} = 0{,}4$ м/с² находим:

$$W = k_{z_k}\,\sigma_{\ddot{z}_c}^2 + k_{z_c}\,\sigma_{\ddot{z}_c}^2 + k_x\sigma_{\ddot{x}_c} =$$
$$= 0{,}038 + 0{,}431 + 0{,}623 = 0{,}996 \text{ Вт}.$$

Коэффициенты k_{z_k}, k_{z_c}, k_{x_c}, k_{y_c}, учитывающие особенности восприятия в зависимости от частоты колебаний и их направления, показаны в виде кривых на рис. 5.

Оценим воздействие колебаний на водителя в течение рабочего дня для трактора "Беларус-3022ДВ". По результатам испытаний случайные колебания характеризовались частотами, средними квадратическими ускорениями в м/с² и продолжительностью действия, значения которых приведены в таблице.

Из рис. 4 найдем значения k_z и приведем их к заданным полосам частот.

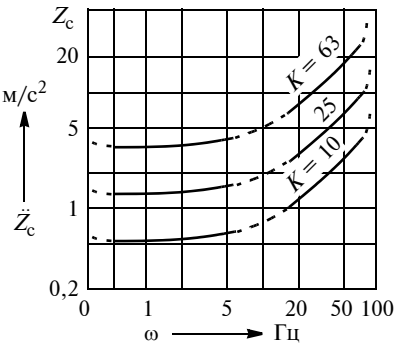


Рис. 3. Кривые одинаковых ощущений при гармонических колебаниях

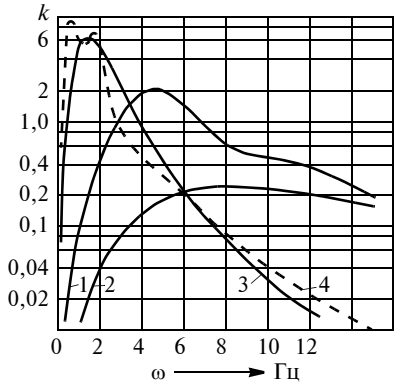


Рис. 4. Коэффициенты усвоения при гармонических колебаниях, действующих вдоль осей человеческого тела:

1 — вертикальная ось (через сиденье); *2* — вертикальная (через ноги); 3 — продольная; *4* — поперечная

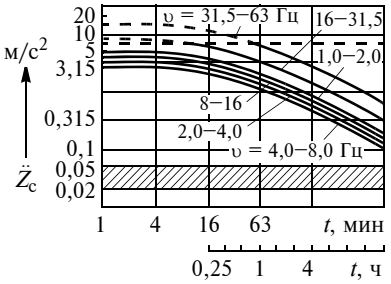


Рис. 5. Средние квадратические ускорения, соответствующие границе допустимой утомляемости при вертикальных гармонических колебаниях в зависимости от продолжительности *t* колебаний (заштрихована область пороговых ощущений при наибольшей чувствительности)

Для первого режима (t_1):

$$\ddot{z}_1 = \sqrt{\ddot{z}_{11}^2 k_{z_1}^2 + \ddot{z}_{13}^2 k_{z_3}^2 + \ddot{z}_{16}^2 k_{z_6}^2} =$$

$$= \sqrt{0{,}25^2 \cdot 0{,}6^2 + 0{,}5^2 \cdot 1^2 + 0{,}5^2 \cdot 0{,}18^2} = 0{,}5 \text{ м/с}^2.$$

Для второго режима (t_2):

$$\ddot{z}_2 = \sqrt{\ddot{z}_{21}^2 k_{z_1}^2 + \ddot{z}_{23}^2 k_{z_3}^2 + \ddot{z}_{26}^2 k_{z_6}^2} =$$

$$= \sqrt{0{,}27^2 \cdot 0{,}6^2 + 0{,}3^2 \cdot 1^2 + 0{,}3^2 \cdot 0{,}18^2} = 0{,}3 \text{ м/с}^2.$$

Для третьего режима (t_3):

$$\ddot{z}_3 = \sqrt{\ddot{z}_{31}^2 k_{z_1}^2 + \ddot{z}_{33}^2 k_{z_2}^2 + \ddot{z}_{36}^2 k_{z_3}^2} =$$

$$= \sqrt{0{,}65^2 \cdot 0{,}6^2 + 0{,}45^2 \cdot 1^2 + 0{,}4^2 \cdot 0{,}18^2} = 0{,}6 \text{ м/с}^2.$$

Для проверки соответствия заданного режима колебания условию сохранения производительности труда по кривым (см. рис. 4), допустимая продолжительность колебаний, соответствующая граничным значениям ускорений с учетом норм для полосы частот 4—8 Гц, равна:

$\ddot{z}_1$ соответствует $[T_1] = 240$ мин;

Характеристика случайных колебаний

Продолжительность действия, мин	Средние квадратические ускорения, м/с², при полосе частот, Гц		
	1—2	4—8	31,5—63
$t_1 = 120$	$\ddot{z}_{11} = 0{,}25$	$\ddot{z}_{13} = 0{,}5$	$\ddot{z}_{16} = 0{,}5$
$t_2 = 30$	$\ddot{z}_{21} = 0{,}27$	$\ddot{z}_{23} = 0{,}3$	$\ddot{z}_{26} = 0{,}3$
$t_3 = 8$	$\ddot{z}_{31} = 0{,}65$	$\ddot{z}_{33} = 0{,}45$	$\ddot{z}_{36} = 0{,}4$

$\ddot{z}_2$ соответствует $[T_2] = 300$ мин;

$\ddot{z}_3$ соответствует $[T_3] = 180$ мин.

Продолжительность колебаний, эквивалентная этому режиму:

$$T_э = t_1 \frac{[T_2]}{[T_1]} + t_2 + t_3 \frac{[T_2]}{[T_3]} = 120 \frac{300}{240} + 30 + 8 \frac{300}{180} \approx 193 \text{ мин.}$$

Следовательно, заданный режим колебаний допустим для здоровья, так как $T_э < [T_2] = 300$ мин, но такой режим ведет к некоторому снижению производительности труда вследствие появления утомления.

Однако данная методика не является исчерпывающей с точки зрения производительности труда. Авторами предложена методика, позволяющая определять физиологическое состояние оператора-водителя с точки зрения утомления по индексу напряжения ИН, который зависит от возмущения, шума и подвески сиденья.

Влияние поглощаемой мощности на физиологические факторы водителя (оператора), определенное по методике полного факторного эксперимента, описано следующей корреляционной зависимостью:

$$W = 0{,}18 + 0{,}13Ч + 0{,}09ВР + 0{,}14А{,}1 + 0{,}53И{,}5.$$

Полученное выражение отражает сложность восприятия колебаний водителем (оператором): продольные ускорения составляют 38 %, а вертикальные — 64 % поглощаемой мощности колебаний.

Из анализа колебаний основания кабины и испытателя на сиденье по модели, эквивалентной подвеске сиденья трактора "Беларус", можно сделать следующие выводы:

- при движении по ровной грунтовой дороге со скоростью 3—5 км/ч роль сиденья состоит в основном в поглощении высокочастотных колебаний (свыше 10 Гц);
- при гармонических колебаниях роль подрессоривания сиденья проявляется сильнее (ускорения уменьшаются на всех частотах).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ротенберг Р. В.** Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1972. — 392 с.
2. **Тракторы.** Теория: учебное пособие для студентов по спец. "Автомобили и тракторы" / В. В. Гуськов [и др.]; под общ. ред. В. В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
3. **Троицкий В. А.** Оптимальные процессы колебаний механических систем / В. А. Троицкий. — Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1976. — 248 с.

УДК 629.113

Т. Ю. Полякова, д-р пед. наук, **А. Н. Ременцов**, д-р пед. наук, МАДИ
E-mail: rementsov@madi.ru

АНГЛО-РУССКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ-МИНИМУМ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

В статье приводится описание учебного англо-русского и русско-английского терминологического словаря-минимума "Автомобильный сервис", разработанного в рамках Программы стратегического развития Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). В ней раскрываются возможности его применения в процессе подготовки и профессиональной деятельности специалистов автотранспортного комплекса.

Ключевые слова: *терминологический словарь-минимум, профессиональное общение, автотранспортный комплекс, терминология, структура словаря.*

Интеграция России в мировую экономику приводит к появлению совместных предприятий, временно действующих и постоянных международных коллективов. Автотранспортная отрасль является одной из первых и наиболее развитых в этом отношении. На территории страны работают заводы по выпуску зарубежных автомобилей. Станции технического обслуживания иностранных легковых и грузовых автомобилей успешно функционируют еще с конца XX столетия. Профессиональная деятельность в подобных организациях расширяет возможности общения специалистов инженерно-технического профиля с зарубежными партнерами, что требует владения иностранным языком, и в первую очередь английским. Чрезвычайно важную роль при этом играет знание узкоспециальной терминологии.

Вступление страны во Всемирную торговую организацию влечет за собой необходимость гармонизации европейских технических норм во многих секторах экономики, включая процессы производства и технического обслуживания подвижного состава автомобильного транспорта. Это также ставит перед выпускниками факультетов автомобильного транспорта задачу овладения специальной терминологией. При этом в современных условиях знание терминологии на английском языке в определенной области становится необходимым условием осуществления специалистом как устного, так и письменного общения.

Данное требование нашло отражение в Государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования третьего поколения [1], в котором зафиксированы требования к обязательному лексическому минимуму по иностранному языку в количестве четырех тысяч учебных лексических единиц, включая слова терминологического характера. В ныне действующей Примерной программе по дисциплине "Иностранный язык" для подготовки бакалавров в технических вузах [2] среди задач овладения речевыми средствами в процессе формирования коммуникативных умений также отмечается необходимость развития навыков адекватного употребления терминологической лексики наряду с общеупотребительной и научной. В программах предыдущих периодов [3 ,4] также отмечалась необходимость изучения терминологии по специальности.

В связи с этим в рамках Программы стратегического развития Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) была поставлена задача — разработать серию двуязычных терминологических словарей-минимумов по приоритетным направлениям вуза. Одним из таких словарей является англо-русский и русско-английский терминологический словарь-минимум "Автомобильный сервис".

В настоящее время в процессе обучения иностранному языку в техническом вузе при чтении и переводе научно-технических текстов используются

современные двуязычные отраслевые словари. Терминология в области автомобилестроения достаточно широко представлена в лексикографии [5, 6]. К сожалению, наличие в подобных словарях нескольких тысяч терминов, представленных в алфавитном порядке, не дает возможности эффективно применять их с целью усвоения терминологии. В отличие от отраслевых словарей, учебные двуязычные терминологические словари-минимумы обладают большим потенциалом для повышения эффективности изучения терминологии в процессе самостоятельной внеаудиторной работы студентов, так как могут обеспечить ее рациональную организацию.

Словарь "Автомобильный сервис" предназначен для студентов бакалавриата по направлению подготовки 190100 "Сервис транспортных средств", профиль "Сервис транспортных средств", а также по направлению подготовки 190600 "Эксплуатация транспортно-технологических машин и оборудования", профиль "Автомобильный сервис". Однако обучение узкоспециальной терминологии особенно актуально при изучении английского языка в магистратуре и аспирантуре, когда обучающиеся уже обладают необходимыми для этого техническими знаниями. В связи с этим основными адресатами словаря являются обучающиеся в магистратуре (направление подготовки 190600, магистерские программы "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов") и аспирантуре (направление подготовки 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта").

Представляется важным, что возможно также применение словарей-минимумов инженерно-техническими и научными сотрудниками, работающими в сфере автомобильного транспорта. Словарь может быть использован для устного и письменного общения, в частности, для самостоятельного овладения основной терминологией, чтения и перевода специальных текстов на английском языке, написания статей и аннотаций в отечественные и иностранные научные и технические журналы, для подготовки устных презентаций на совещаниях.

Для составления словарей-минимумов были созданы рабочие группы, в состав которых были включены не только преподаватели английского языка, но также аспиранты и преподаватели соответствующих направлений. Особое значение подобное сотрудничество имеет при составлении терминологического списка. Так, словарь "Автомобильный сервис" является результатом совместной работы кафедры иностранных языков, кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, а также кафедры теплотехники и автотракторных двигателей МАДИ.

Словарь включает около 400 узкоспециальных терминов и состоит из трех частей: англо-русской тематической части, англо-русской и русско-английской алфавитных частей.

С учетом разработанной концепции словаря [7] его авторы исходили из достаточно широкого понимания термина как слова или словосочетания, обозначающего понятие специальной области знания или деятельности [8], а в качестве особенностей термина рассматривали его системность, наличие дефиниции, стилистическую нейтральность и тенденцию к моносемичности.

Включение в словарь-минимум не только однословных терминов, но и многокомпонентных терминов, представляющих собой словосочетания, представлялось принципиально важным, т. к., с одной стороны, это отражает их распространенность в специальных технических текстах на английском языке, с другой стороны, создает необходимые условия для усвоения многословного термина как единого целого.

В качестве основного подхода к отбору лексических единиц был использован тематический принцип. Тематическая организация терминов словаря позволила включить в него термины, которые составляют ядро терминологической системы конкретной сферы деятельности и отражают структуру ее логического построения.

Так, в словаре "Автомобильный сервис" термины объединены в два больших раздела: конструкция автомобиля и эксплуатация автомобилей. В частности, в первый раздел вошли термины, обозначающие виды транспорта, общее устройство автомобиля, включая устройство двигателя, трансмиссии, подвески, кузова, рулевого управления, тормозной системы, а также электрооборудования и экологии автомобилей.

В разделе "Эксплуатация автомобилей" приводятся термины по теоретическим и нормативным основам технической эксплуатации автомобилей, техническому состоянию автомобилей, условиям эксплуатации, системе обеспечения работоспособности автомобилей, ремонту и технологии технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Отдельного упоминания заслуживает оформление словарной статьи тематической части словаря. В тематической части настоящего словаря-минимума представлен термин (слово или словосочетание) на английском языке, знакомящий с его графической формой,а также русский эквивалент термина, раскрывающий его значение. Достоинством словаря является то, что, в отличие от большинства политехнических и отраслевых словарей, к каждому термину приводится его транскрипция, дающая его звуковую форму. Кроме того, в словарных статьях основных

терминов приводится их дефиниция, способствующая формированию представления об их применении. Некоторые термины, обозначающие конкретные понятия, снабжены иллюстрациями, которые приводятся в приложениях. Авторы руководствовались тем, что магистранты и аспиранты уже владеют понятийным аппаратом по своей специальности, однако зрительный образ способствует лучшему запоминанию терминов на английском языке.

Достаточно большой объем отобранных терминов создает возможности для его более широкого применения в процессе устного и письменного профессионального общения. Выполнение этой задачи потребовало представления терминов не только по тематическому принципу, но и в алфавитном порядке и определило необходимость разработки как англо-русской, так и русско-английской алфавитных частей словаря.

Англо-русская алфавитная часть словаря-минимума содержит отобранные термины на английском языке в алфавитном порядке, их эквиваленты на русском языке, а также ссылки на местонахождение терминов в тематической части. Наличие ссылок позволяет быстро найти транскрипцию, определение и возможные синонимы термина, что, в свою очередь, делает возможным использование данной части словаря-минимума при чтении и переводе аутентичных научно-технических текстов на английском языке по специальности "Автомобильные дороги".

Русско-английская алфавитная часть словаря-минимума в свою очередь содержит отобранные термины на русском языке в алфавитном порядке и их эквиваленты на английском языке. В каждой словарной статье также приводятся ссылки на номера терминов в тематической части. Наличие данной части делает возможным использование словаря-минимума при подготовке текстов статей и их аннотаций для представления в отечественные и зарубежные журналы, а также устных выступлений и презентаций на международных семинарах и конференциях по специальности.

Подобная структура словаря как учебного двуязычного терминологического словаря-минимума соответствует его главной цели — оказанию помощи в самостоятельном усвоении системообразующих терминов конкретной предметной области знаний в процессе непрерывной подготовки по иностранному языку. При этом отобранные термины могут служить базой для формирования более полного словарного запаса при дальнейшей профессиональной работе специалиста. Кроме того, терминологический словарь-минимум способствует расширению так называемого потенциального лексического запаса, основанного на способности самостоятельного определения значения незнакомых терминов на базе известных слов и словообразовательных моделей.

Терминологический словарь-минимум, построенный по тематическому принципу, обладает большими потенциальными возможностями его применения в образовательном процессе. Он может служить основой для разработки мультимедийного приложения, облегчающего самостоятельное изучение специальной терминологии. Кроме того, он может использоваться преподавателями иностранных языков при составлении учебно-методических материалов и пособий по иностранному языку по вышеуказанным направлениям подготовки.

Таким образом, владение терминологией по специальности является основой устного и письменного профессионального общения специалистов. Достижению этой цели может способствовать разработанный в МАДИ учебный двуязычный терминологический словарь-минимум "Автомобильный сервис", представляющий собой качественно ограниченную, определенным образом отобранную и систематизированную совокупность учебных терминологических единиц. Авторы словаря надеются, что он не только найдет применение в системе университетского технического образования, но и будет востребован специалистами автотранспортной отрасли народного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Федеральный государственный образовательный стандарт** высшего профессионального образования по направлению подготовки 190600 эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (квалификация (степень) "бакалавр").
2. **Примерная программа** по дисциплине "Иностранный язык" для подготовки бакалавров (неязыковых вузы). — М.: ИПК МГЛУ "Рема", 2011. — 30 с.
3. **Программа** по английскому языку для неязыковых специальностей высших учебных заведений. — М.: Высшая школа, 1984. — 16 с.
4. **Типовая программа** по иностранному языку для неязыковых специальностей высших учебных заведений. — М.: 1990. — 45 с.
5. **Тверитнев М. В.** Англо-русский и русско-английский автомобильный словарь / English-Russian and Russian-English Automobile Dictionary. — М.: ABBYY Press, 2008. — 376 с.
6. **Лесов В. Р.** Большой англо-русский автомобильный словарь. — С.-Петербург, М. Г. В., 2003. — 467 с.
7. **Полякова Т. Ю., Тишкова И. А.** Использование учебного двуязычного терминологического словаря-минимума в процессе формирования профессиональной компетенции инженера. Принята к публикации в журнале "Казанская наука", 2012, № 12.
8. **Лингвистический энциклопедический словарь.** — М.: Советская энциклопедия, 1990. — 685 с.

УДК 629.113

И. К. Шарапова, студ. 1 курса магистратуры, **В. В. Гулый**, студ. 5 курса, МАДИ
E-mail: blackblot@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены основные виды альтернативных автомобильных топлив и энергоносителей, произведено их сравнение с целью выявления наиболее экономически и экологически эффективного для городских пассажирских перевозок.

Ключевые слова: *альтернативные топлива, вредные выбросы, бензин, дизельное топливо, сжиженный углеводородный газ, электромобили, пневмомобили.*

Обеспеченность страны энергоресурсами напрямую влияет на ее экономическое развитие. Самым востребованным энергоресурсом в настоящее время является нефть. Наиболее ярко выражена нефтяная зависимость транспортного комплекса. Одним из самых активных потребителей нефти является автомобиль. По оценкам центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), по приросту потребления энергии в последние семь лет транспорт занимает второе место после промышленности.

Основные причины быстрого роста — увеличение потребления жидкого топлива на личном автомобильном транспорте. Потребление энергии в транспортном секторе выросло за этот период на 43 %. В структуре пассажирооборота транспорта резко увеличилась доля личных автомобилей, что привело к существенному снижению энергетической эффективности пассажирских перевозок.

Функционирование транспорта сопровождается мощным негативным воздействием на природу. Транспорт — один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха. В России его доля в общем объеме выбросов в атмосферу загрязняющих веществ стационарными и подвижными источниками составляет 38 %, что выше, чем доля любой из отраслей промышленности [1].

По видам транспорта выбросы загрязняющих веществ распределяются следующим образом (рис. 1): 58 % общего выброса приходится на автомобильный транспорт, 25 % — на железнодорожный, 14 % — на дорожно-строительный комплекс, около 2 % — на воздушный транспорт и менее 1 % — на речной и морской [1].

Учитывая вышеперечисленные причины, ученые ведущих автомобильных концернов мира, а также ученые многих государств ведут свои исследования, чтобы найти альтернативное топливо для автомобилей. Потребность в поиске альтернативных энергоносителей на автомобильном транспорте в большой степени обусловлена экологической обстановкой в больших городах. Все меры по снижению уровня загрязнения воздуха выбросами автотранспорта могут быть разделены на технические меры и организационные.

Технические меры:

- эффективное использование топлива (уменьшение массы автомобиля, снижение мощности двигателя, использование неполноприводных автомобилей для городских условий эксплуатации, улучшение аэродинамических качеств, использование электронного зажигания, электронного контроля впрыска);
- использование систем очистки выхлопных газов (каталитические конвертеры);
- эффективная очистка топлива (очистка от серных примесей, использование высокооктановых бензинов без содержания свинца);
- новые эффективные двигатели;
- новые виды топлива.

Организационные меры:

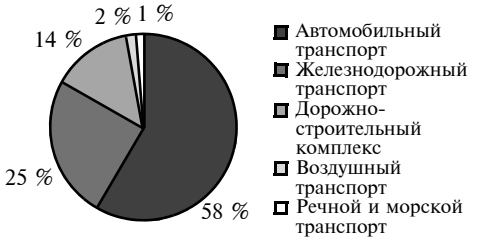


Рис. 1. Распределение выбросов загрязняющих веществ по видам транспорта

- улучшение дорожного покрытия для обеспечения плавного движения транспортного потока;
- повышение доли общественного транспорта в городских пассажирских перевозках;
- эффективное планирование транспортных потоков;
- использование HOV — полосы для движения транспортных средств с числом пассажиров не менее трех;
- ужесточение соблюдения существующих стандартов на загрязнение окружающей среды и разработка новых.

На сегодняшний день двигатель внутреннего сгорания остается основной движущей силой автомобиля. В связи с этим единственный путь решения энергетической проблемы автомобильного транспорта — это производство и использование альтернативных видов топлива. Новое горючее должно удовлетворять очень многим требованиям:

- иметь необходимые сырьевые ресурсы;
- иметь низкую стоимость;
- не ухудшать работу двигателя;
- как можно меньше выбрасывать вредных веществ;
- сочетаться со сложившейся системой снабжения топливом и др.

В случае практического использования большинства новых видов топлива возникают следующие задачи, требующие разрешения. Так, затраты на производство нового топлива в целом значительно превышают затраты на виды топлива, получаемые из нефти.

Более низкая энергетическая ценность нового топлива по сравнению с нефтью вызывает потребность в больших объемах топлива, что увеличивает массу транспортного средства и в конечном итоге сказывается на повышенном расходе топлива. Большие объемы, занимаемые баллонами, затрудняют использование газообразных видов топлива для автомобилей.

Проблемы использования новых видов топлива скорее экономические, чем технологические. Технически новые двигатели уже существуют и могут быть запущены в массовое производство при появлении нового топлива на доступном уровне цен. Внедрение в практику нового топлива вызовет необходимость реорганизации системы хранения и транспортировки топлива на АТП.

Основная причина стремления использовать на автомобильном транспорте альтернативное топливо — снижение выбросов CO_2 в атмосферу. Однако для полной оценки влияния топлива на загрязнение атмосферы нужно рассмотреть всю цепочку, которую проходит топливо, — от добычи сырья до потребления.

Единая классификация альтернативных видов топлива пока не принята. На основании всестороннего анализа существующих разработок в этой области предлагается следующая классификация основных видов альтернативного топлива (рис. 2).

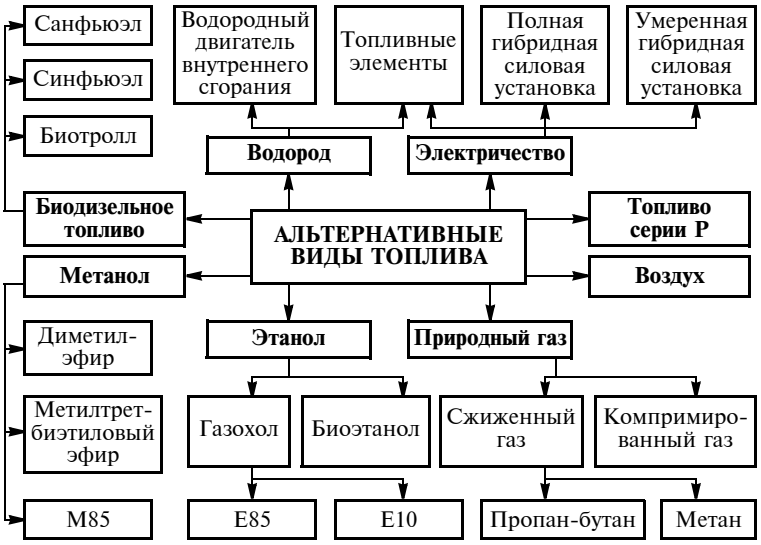


Рис. 2. Альтернативные виды топлива

Описание, преимущества и недостатки альтернативных топлив

Биодизельное топливо вырабатывают на основе растительных масел или животных жиров.

Биодизельное топливо имеет неограниченные запасы сырья. При использовании меньшее количество вредных веществ выбрасывается с отработавшими газами. При этом возможно получить требуемые характеристики топлива. Биодизельное топливо можно использовать в чистом виде для модифицированных двигателей или смешивая с углеводородным дизельным топливом для неадаптированных. Биотопливо поддается биохимическому разложению и снижает содержание веществ, загрязняющих воздух, таких как твердые примеси, монооксид углерода и углеводороды. Выбросы CO_2 нейтральны по отношению к окружающей среде: при сгорании биотоплива в атмосферу возвращается та углекислота, что была поглощена растениями во время роста.

Синфьюоэл (Synfuel) — получают путем специальной обработки природного газа.

Санфьюоэл (Sunfuel) — получают перегонкой любых органических соединений (ил, опилки, уголь, трава, старые лекарства, инсектициды, боевые отравляющие вещества) при температуре 1600 °С с последующей обработкой.

Синтетическое топливо *Biotroll* производится из отходов деревообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства и даже бытового мусора. При его сгорании в атмосферу не выбрасывается углекислый газ. Биотопливо легко смешивается с дизельным, улучшая экологические показатели двигателей.

Используя синтетическое топливо, можно добиться требуемых характеристик, снизить выбросы вредных веществ по сравнению с применением нефтяного

топлива. Запасы сырья для производства синтетического топлива неограниченны.

К недостаткам данного вида продукции можно отнести высокие производственные затраты энергии, необходимость значительных материальных вложений для строительства предприятий по выпуску топлива и формирования структуры накопления, поставки и подготовки сырья: использование синтетического топлива снижает мощность двигателя и повышает расход топлива.

Водород. Его получают из природного газа, океанской воды, биомассы, воздуха. Он обладает более широким, по сравнению с бензином, диапазоном пропорций смешивания с воздухом, при которых еще возможен поджиг смеси. При этом происходит его полное сгорание при чистом выхлопе и повышении термического КПД. Двигатель, работающий на водороде, более гибок.

К недостаткам использования водорода следует отнести опасность топливных баков для его хранения в газообразном виде под высоким давлением (300—350 кг/см^2). При длительной стоянке автомобиля происходят потери водорода: при нагревании он стравливается через предохранительный клапан. Если же его хранить в жидком виде и при сравнительно невысоком давлении, то потребуется охлаждать топливо до минус 253 °С.

Транспортные средства, работающие на топливных элементах. Топливные элементы вырабатывают электрическую энергию в процессе реакции водорода и кислорода, не загрязняя окружающую среду.

Электричество. Электрические транспортные средства работают от аккумуляторных батарей. Электроэнергия накапливается в батареях, которые заряжаются путем подключения транспортного средства к стандартному источнику питания.

Гибридные автомобили. Принципиальная параллельная схема работы гибридной установки, когда колеса приводит в движение как двигатель внутреннего сгорания, так и электродвигатель. Последовательная, когда двигатель внутреннего сгорания работает лишь на зарядку батарей, а колеса вращает электромотор.

Преимущества гибридных автомобилей в том, что они почти не дают выбросов вредных веществ в атмосферу (только при зарядке аккумуляторных батарей). Кроме того, электродвигатели на малых оборотах развивают большой крутящий момент (важно, когда нужно тронуться с места или преодолеть трудных участок дороги), они требуют меньше регулировок, не потребляют много масла. У гибридных автомобилей упрощена система охлаждения, для отопления салонов и кабин устанавливают автономные обогреватели, потребляющие мало бензина или дизельного топлива.

К недостаткам гибридных автомобилей относят наличие сложных преобразователей напряжения, тяжелых и громоздких аккумуляторов, малую энергоемкость батарей, очень дорогое производство и недостаточный запас хода. К тому же время заряда батарей составляет около 6—8 часов.

Природный газ. Применяется в компримированном (сжатом до 200 кг/см^2) или сжиженном (охлажденном до минус 160 °С) состоянии. Обладает меньшей по сравнению с бензином токсичностью выхлопа и не требует серьезных изменений конструкции автомобиля.

Преимущества сжатого газа (метан, природный газ, биогаз) заключаются в значительных запасах и возможности получения из возобновляемых источников (метан можно получать при переработке органических отходов). Он обладает низкой стоимостью, меньшей токсичностью отработавших газов. Для работы на сжатом газе можно переоборудовать практически любые бензиновые двигатели и дизели.

Недостатками автомобилей, работающих на сжатом газе, являются большие тяжелые и дорогостоящие газовые баллоны, сравнительно высокая стоимость переоборудования двигателей. Кроме того, при транспортировке природного газа возможны его утечки, он взрывоопасен.

Сжиженный газ — пропан-бутановая смесь — является сопутствующим газом, который получают при добыче и переработке нефти. Диметилэфир — это сжиженный газ, который вырабатывается из природного метана.

Стоимость этого вида топлива ниже стоимости бензина (но выше сжатого газа). Для работы на нем можно переоборудовать практически любые бензиновые двигатели. Сжиженный газ обладает меньшей токсичностью отработавших газов, а в транспортном комплексе имеется высокоразвитая инфраструктура для транспортировки, хранения и его распространения. Это топливо хранится в сжиженном виде под давлением в 16 кг/см^2, в сравнительно легком баллоне.

Однако запасы сырья для сжиженного газа ограничены, а в эксплуатации регулировка смеси для летних и зимних условий. При температуре ниже +5 °С рекомендуется пускать и прогревать двигатели на бензине. АТП несут дополнительные расходы на установку и обслуживание газовой топливной системы. Запас хода автомобиля, работающего на сжиженном газе, меньше, чем при работе на бензине.

Этанол (этиловый спирт или хлебный спирт). Производится путем брожения зерновых продуктов, таких как кукуруза, ячмень или пшеница, и последующей дистилляции.

Биоэтанол — это обезвоженный этиловый спирт, изготовленный из биологически возобновляемого сырья. Основные способы его получения — сбраживание пищевого сырья, гидролиз растительного сырья и гидратация этилена (синтетический спирт).

Преимущества: разнообразие запасов сырья, которые практически неограниченны. Богатым опытом эксплуатации двигателей. работающих на спирте, обладают, в частности, Бразилия, Австралия. Спирт можно использовать как в чистом виде, так и в смеси с бензином. Токсичность отработавших газов снижается.

Недостатки: нужно вносить конструктивные изменения в топливную систему двигателей, мощность ко-

торых снижается, а расход горючего увеличивается. Вследствие гироскопичности спирта могут ухудшаться пусковые свойства двигателя. Производство же биоэтанола пока еще дорогостоящее.

Газохол — используется для транспортных средств с универсальной топливной системой.

Метанол (метиловый, древесный спирт). Процесс получения основан на каталитической конверсии углеводородов природного, коксового и других углеводородсодержащих газов с водяным паром. Наиболее перспективное применение может быть в качестве источника водорода, который необходим для работы топливных элементов.

Запасы сырья для производства метанола практически неограниченны. Он может использоваться в транспортных средствах с универсальной топливной системой в чистом виде, его можно смешивать с бензином. Метанол может служить основой для производства диметиоэфира и эфирной добавки — метилтретбутилового эфира, а также как сырье для производства синтетического бензина. Использование метанола позволяет решить проблему хранения водорода и извлечения его по мере надобности.

К сожалению, метанол очень токсичен (смертельная доза для человека — 30 мл). Он вызывает коррозию деталей. Как самостоятельное топливо и в качестве добавок к бензину метанол применяют редко и только для двигателей спортивных мотоциклов, не рассчитанных на длительную эксплуатацию, и для гоночных автомобилей.

Сжатый воздух. Он тоже может приводить в движение автомобиль. В цилиндры двигателя подается мощный поток воздуха из баллона (давление около 300 кг/см^2). В конструкции использовали два роторных пневмодвигателя — по одному на колесо, а трансмиссия с переменным передаточным числом отсутствует.

Автомобиль с пневмодвигателями не требует топливо в общепринятом понимании. Простота конструкции обусловливает ее высокую надежность. Нормативный пробег машины между двумя техосмотрами составляет около 100 тыс. км. Инфраструктура заправки и обслуживания машин с пневмоприводом может быть организована гораздо проще, чем подобная инфраструктура для большинства альтернативных топлив. Пневмозаправка не требует подвоза и переработки топлива — требуется только подвод электроэнергии.

Понятно, что запас хода автомобиля с пневмодвигателями невелик. Его надо оснастить крупными баллонами, которые требуют длительной подкачки.

Топливо серии Р представляет собой смесь этанола, газоконденсатной жидкости и метилтетрагидрофурана, вспомогательного растворителя, полученного из биомассы. Можно использовать в транспортных средствах с универсальной топливной системой в чистом виде или в смеси с бензином в любом соотношении путем простого добавления бензина в бак.

Произведем расчет эффективности применения наиболее перспективных видов энергоносителей в автомобилях для пассажирских перевозок на примере моделей *Ford Focus 3* универсал и *Hyundai i40* седан, использующихся в качестве городских такси и работающих на бензине, дизельном топливе или газе, *Ford Focus Electric* и *Hyundai Blue On* как представителей электромобилей и *City Flow Air*, как автомобиль с пневматическим приводом.

Стоимость 1 км пробега на бензине, дизеле, газе (руб.) можно рассчитать по следующей формуле:

$$C_{1\ км} = P_г/100C_{1\ л},$$

где $P_г$ — расход топлива, л/100 км;

$C_{1\ л}$ — стоимость 1 л топлива, руб.

Для электромобиля рассчитать стоимость 1 км пробега (руб.) можно, узнав, сколько электроэнергии он тратит на такой пробег, и умножив ее на стоимость 1 кВт/ч электроэнергии:

$$C_{1км\ эл} = P_{э\ 1\ км}C_{1\ кВт/ч},$$

где $P_{э\ 1\ км}$ — расход электроэнергии на 1 км, кВт/ч; $C_{1\ кВт/ч}$ — стоимость электроэнергии, руб.

При быстрой зарядке требуется около 40 минут подключения автомобиля к электросети, следовательно, время зарядки, необходимой для преодоления 1 км, будет равно:

$$T_з = P_{э\ 1\ км}t_{40}/E_а,$$

где t_{40} — время заряда, мин; $E_а$ — емкость аккумуляторной батареи, кВт/ч.

Для автомобиля с пневматическим приводом стоимость 1 км пробега (руб.) будет равна расходу воздуха, необходимого для преодоления такого расстояния, умноженного на количество электроэнергии, затраченной на работу компрессора для закачки сжатого воздуха в баллоны с учетом КПД компрессора, и умноженного на стоимость 1 кВт/ч электроэнергии:

$$C_{1\ км\ п} = P_{в\ 1\ км}K_{э\ 1\ л}КПД_к C_{1\ кВт/ч},$$

где $P_{в\ 1\ км}$ — расход воздуха, необходимого для 1 км пробега, л; $K_{э\ 1\ л}$ — количество электроэнергии, затраченной на работу компрессора, кВт/ч; $КПД_к$ — КПД компрессора; $C_{1\ кВт/ч}$ — стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.

При быстрой зарядке пневмомобиля требуется около 2 мин подключения автомобиля к компрессору высокого давления, следовательно, время зарядки, необходимой для преодоления 1 км, составит:

$$T_{зп} = P_{св\ 1\ км}t_2/O_б,$$

где $P_{св\ 1\ км}$ — расход сжатого воздуха на 1 км, л; t_2 — время подключения к компрессору, мин; $O_б$ — объем баллонов, л.

Поскольку рассматривается использование автомобилей в качестве городского такси, при расчете учитывается расход топлива в городском режиме. Эффективность применения различных видов энергоносите-

Сравнение различных видов энергоносителей

Энергоноситель	Затраты						
	Средний расход на 100 км	Стоимость 1 км пробега, руб.	Время заправки из расчета на 1 км, с	Периодичность техобслуживания, км	Примерная стоимость нового автомобиля (включая переоборудование), руб.	Содержание CO_2 в выбросах при производстве, г/км	Содержание CO_2 в выхлопных газах, г/км
Бензин	7,95 л	2,48	0,27	10 000	903 170	47,0	140
Дизельное топливо	5,50 л	1,76	0,27	10 000	1 033 748	22,9	111
Газ	9,14 л	1,51	0,27	15 000	927 070	42,5	43
Электричество	14,4 кВт/ч	0,65	15	20 000	1 315 000	105,3	0
Сжатый воздух	0,08 кВт/ч	0,005	0,66	100 000	585 000	123,9	0

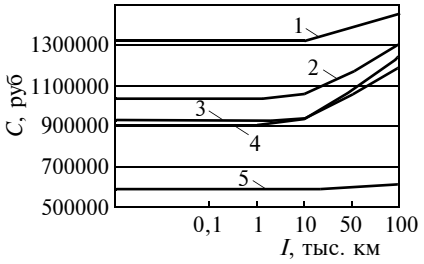


Рис. 3. Суммарная стоимость приобретения и эксплуатации автомобилей, работающих на различных энергоносителях:

1 — электричество; *2* — дизельное топливо; *3* — газ; *4* — бензин; *5* — сжатый воздух

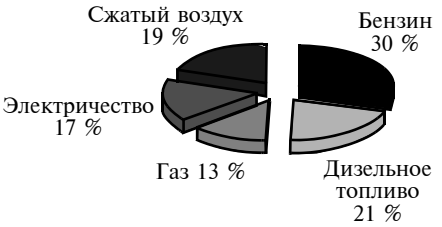


Рис. 4. Соотношение содержания CO_2 в выбросах различных энергоносителей

лей в автомобилях для пассажирских перевозок отражена в таблице по усредненным значениям расчетов.

Представим в графическом виде стоимость покупки и последующей эксплуатации автомобилей с рассмотренными источниками питания (рис. 3) и экологичность энергоносителей по параметру содержания CO_2 в отработавших газах (рис. 4) в зависимости от пробега автомобиля.

В результате произведенного анализа автомобиль, работающий на сжатом воздухе, является наиболее выгодным в отличие от других экологически чистых видов альтернативного транспорта в рамках использования его как автомобиля для городских пассажирских перевозок (такси). Пневмомобиль требует наименьшее количество затрат на эксплуатацию и наименее сложен в организации инфраструктуры, обеспечивающей его работу. Кроме того, он стоит значительно дешевле других автомобилей. Что касается экологии, то автомобиль на сжатом воздухе не загрязняет атмосферу выхлопными газами, а энергозатраты на заправку малы по сравнению с альтернативными вариантами.

Стоимость нефтегазовых ресурсов растет, запасы дешевой нефти приближаются к исчерпанию, загрязнение окружающей среды продуктами, содержащимися в бензиновом выхлопе, приобретает все более масштабный характер, а темпы роста автомобильного парка остаются на высоком уровне. Поэтому проблема перехода на альтернативные виды энергоносителей приобретает все большую актуальность, а пневмомобили являются наиболее выгодными среди аналогов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бондалетова Л. И.** Промышленная экология: Учеб. пособие // Том. политехн. ун-т, Томск, 2002. С. 168.
2. http://www.gazunas.ru/
3. http://www.alphaautogas.ru/
4. http://compressor.dukon.ru/
5. http://www.newchemistry.ru/
6. http://environment.about.com/

УДК 621.436

В. А. Марков, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана,
С. Н. Девянин, д-р техн. наук, проф., МГАУ им. В. П. Горячкина,
С. П. Шимченко, аспирант, МГТУ им. Н. Э. Баумана
E-mail: markov@power.bmstu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА БИОГАЗЕ

Обоснована необходимость использования биогазов в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания. Приведены экспериментальные исследования дизеля типа 4 Ч 11/12.5, работающего на биогазе с запальной дозой дизельного топлива. Статья публикуется в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы".

Ключевые слова: *дизельный двигатель, дизельное топливо, биогаз, метан, токсичность отработавших газов.*

В связи с продолжающимся энергетическим кризисом, прогнозами сравнительно быстрого истощения нефтяных ресурсов, с проблемами загрязнения окружающей среды возникает вопрос о целесообразности замены традиционных нефтяных моторных топлив другими типами топлив, получаемых из альтернативных сырьевых ресурсов. Однако развитие топливно-энергетического комплекса России не привело к решению стоящих в настоящее время острых энергетических проблем. По-прежнему углеводороды являются главным энергетическим ресурсом, а вопросы поиска новых альтернативных способов получения энергии остаются остро актуальными.

Сегодня около 40 % всего мирового объема добываемых углеводородов (нефть и природный газ) преобразуется в различные виды моторных топлив [1]. Вместе с тем к середине нынешнего столетия рост потребления первичных ресурсов по сравнению с 2010 г. удвоится и составит около 28 000 млн тонн в нефтяном эквиваленте (рис. 1) [2]. Поэтому возрастает роль возобновляемых энергетических ресурсов. В настоящее время в структуре возобновляемой энергетики в мире энергия биомассы достигает 13 %. По прогнозам, доля возобновляемых источников энергии к 2040 г. достигнет 47,7 %, а вклад биомассы — 23,8 % [3]. По данным работы [2], к 2050 г. прогнозируется увеличение потребления энергии гидростанций — в 2 раза, энергии, получаемой из биомассы и отходов — в 3 раза, энергии из других возобновляемых ресурсов — в 9 раз.

Значительным сырьевым ресурсом для получения моторного топлива является биогаз [4—7]. Это обусловлено тем, что для производства биогаза имеется обширная сырьевая база — он может быть получен из отходов лесопромышленного комплекса, продукции растениеводства, отходов животноводства и птицеводства, из твердых бытовых отходов и канализационных стоков. В России только агропромышленные комплексы ежегодно производят 773 млн т отходов, из которых можно получить 66 млн м^3 биогаза, или около 110 млрд кВт · ч электроэнергии. По этой причине во многих странах мира отмечается тенденция заметного роста производства биогаза (рис. 2, 3 и 4) [4]. При этом

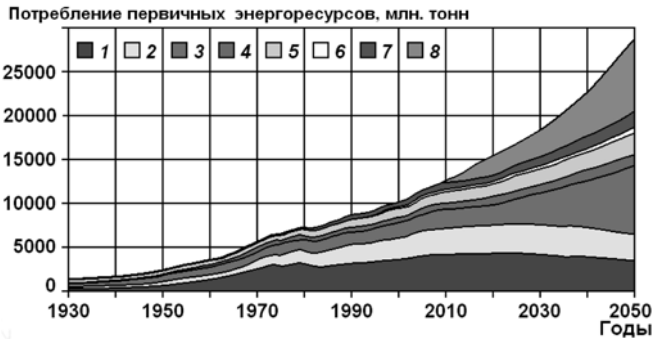


Рис. 1. Динамика мирового роста потребления первичных энергоресурсов:

1 — нефть; *2* — природный газ; *3* — уголь; *4* — гидроэнергия; *5* — биомасса и отходы; *6* — другие возобновляемые источники энергии; 7 — атомная энергия; *8* — неудовлетворенный спрос

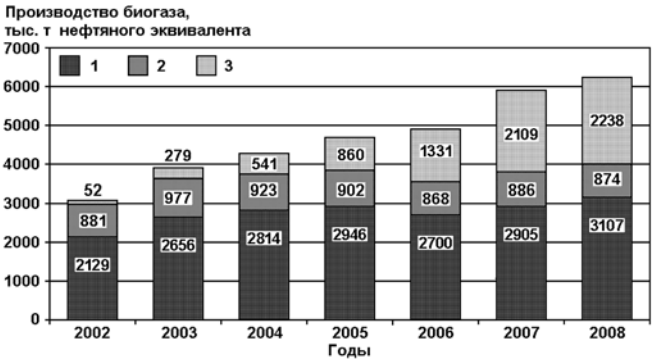


Рис. 2. Производство биогаза в странах ЕС:

1 — биогаз бытовых отходов; *2* — биогаз сточных вод; *3* — биогаз, полученный из растительной массы и навоза сельскохозяйственных животных

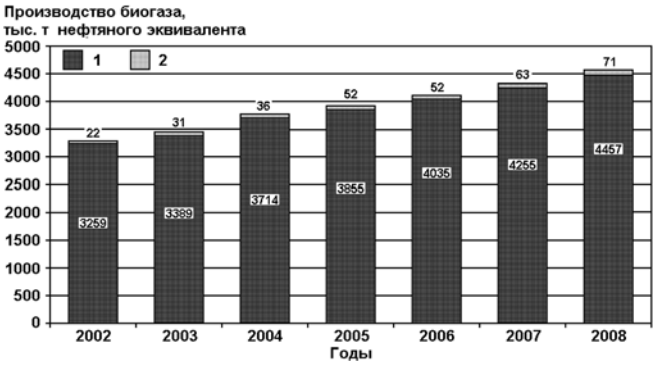


Рис. 3. Производство биогаза в США:

1 — биогаз бытовых отходов; *2* — биогаз, полученный из растительной массы и навоза сельскохозяйственных животных

заметно увеличивается доля биогаза, полученного из растительной массы и навоза сельскохозяйственных животных, в общем объеме производства биогаза.

Возможно конвертирование для работы на биогазе как бензиновых двигателей с принудительным воспламенением рабочей смеси от постороннего источника (свечи зажигания), так и дизельных двигателей. Благодаря высокому метановому числу биогаз обладает хорошими антидетонационными качествами, что обусловливает возможность получения относительно больших КПД, так как можно существенно увеличить степень сжатия ε дизеля при работе на биогазе. Метановое число (МЧ) определяет антидетанационные свойства газа (рис. 5) [4]. Оно сопоставимо с октановым числом бензина и указывает в процентном отношении содержание метана в общем объеме метановодородной смеси, которая в тестируемом двигателе при заданных условиях показала бы одинаковую антидетонационную стойкость с испытуемым газом. Вместе с тем необходимо отметить, что для воспламенения рабочей смеси биогаза с воздухом требуется большая мощность искрового разряда свечи зажигания по сравнению с воспламенением традиционных бензовоздушных смесей.

Переоборудование (конвертация) двигателя внутреннего сгорания в газодизель, работающий на биогазе, целесообразно проводить на базе дизельных двигателей, имеющих высокую степень сжатия. При этом в связи с высокой температурой самовоспламенения смесей воздуха и биогаза необходимо организовать подвод теплоты к этим смесям от постороннего источника. В качестве такого источника могут быть использованы свеча зажигания, запальная доза дизельного топлива, нагретые поверхности камеры сгорания (например, в двигателях с разделенными камерами сгорания). Но следует отметить, что подведенная с запальным топливом энергия в 100—10 000 раз больше, чем энергия искрообразования свечи зажигания. Это позволяет надежно воспламенять бедные газовоздушные смеси с большой долей инертных газов. Газодизели, сохраняя, в основном, конструкцию базового дизеля, могут переводиться с газообразного на дизельное топливо и, наоборот, без остановки на любом режиме работы. При переоборудовании дизеля в газодизель изменение показателей работы газодизеля вызвано различиями в физико-химических свойствах исследуемых топлив (табл. 1) [8].

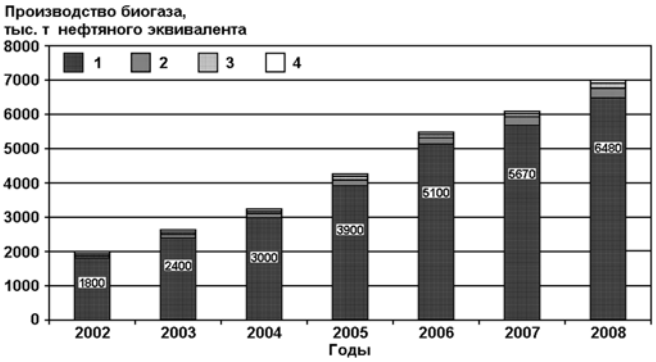


Рис. 4. Производство биогаза в странах ЕС:

1 — биогаз (семейные установки); *2* — биогаз (промышленные установки); *3* — биогаз бытовых отходов; *4* — биогаз сточных вод

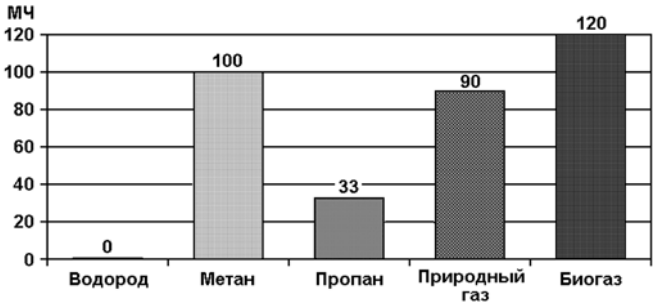


Рис. 5. Метановое число различных газообразных топлив

Таблица 1

Физико-химические свойства дизельного топлива, биогаза и природного газа

Физико-химические свойства	Топливо		
	ДТ	Биогаз	Природный газ
Формула состава	$C_{16,2}H_{28.5}$ (условная)	CH_4 (60-80 % по объему) CO_2 (15 —35 %) H_2 (до 1 %) H_2S (до 1 %) примеси (3 %)	CH_4 (95 % по объему) CO_2 (1 %) N_2 (до 1,5 %) примеси (2,5 %)
Плотность при 20 °С, кг/ м^3	830	1,16*	0,809
Теплота сгорания, МДж/кг	42,5	20,2*	48,4
Цетановое число	45	1*	3
Температура самовоспламенения, °С	250	700*	540
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12*	17,2
Метановое число	—	123*	100

* Приведены усредненные значения

Для оценки эффективности использования биогаза в качестве моторного топлива для дизельного двигателя дизель-генераторной установки и определения ее основных параметров были проведены экспериментальные исследования. Основным элементом указанной установки был дизельный двигатель типа Д-246.1 (4 Ч 11/12,5) производства Минского моторного завода, работающий в составе дизель-генераторной установки, адаптированной к работе на биогазе. Основные параметры дизельного двигателя типа Д-246.1 (4 Ч 11/12,5), работающего на биогазе с запальной дозой дизельного топлива, приведены в табл. 2. В процессе экспериментальных исследований этот дизельный двигатель имел приведенную номинальную мощность N_e = 36 кВт и приведенный крутящий момент M_e = 229 Н · м (эти параметры приведены без учета КПД электрогенератора) при частоте вращения коленчатого вала n = 1500 мин$^{-1}$.

В состав дизель-генераторной установки входил также электрический генератор переменного тока ECO-ECP производства фирмы RINA (Италия). При экспериментальных исследованиях вырабатываемая электрогенератором электроэнергия потреблялась тремя тепловентиляторами, максимальная мощность каждого из которых составляет 12 кВт (эти тепловентиляторы могут также работать с электрической нагрузкой, равной 6 кВт).

В процессе экспериментальных исследований определялись частота вращения коленчатого вала, мощность двигателя, расход запального дизельного топлива, расход биогаза, расход воздуха, а также некоторые дополнительные параметры, необходимые для вычисления показателей топливной экономичности двигателя, показатели дымности и токсичности его отработавших газов (ОГ), а также ряд ограничительных параметров. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера "Инфракар Д1.01" предприятия "Западприбор" (г. Москва) с погрешностью измерения ±1 %. Концентрации в ОГ нормируемых токсичных компонентов — оксидов азота NO_x, монооксида углерода CO, легких несгоревших углеводородов CH_x — определялись газоанализатором "Инфракар 5М-3.01" предприятия "Западприбор" (г. Москва) с погрешностями измерения указанных компонентов ±1 %.

Программа испытаний дизельного двигателя типа Д-246.1 (4 Ч 11/12,5) предусматривает определение его основных показателей при работе на дизельном топливе марки Л по ГОСТ 305—82 и биогазе, который хранился в стальном резервуаре под давлением около 200 атм. Основным компонентом исследуемого биогаза являлся метан, содержание которого в биогазе составляло 70 % по массе.

Исследования дизеля на моторном стенде проведены на режимах предельной регуляторной характеристики, формируемой регулятором при частоте вращения коленчатого вала n = 1500 мин$^{-1}$, которые являются штатными режимами дизель-генераторной установки, вырабатывающей переменный электрический ток. Наклон регуляторной характеристики (ее степень неравномерности δ) исследуемого дизельного двигателя был равен δ = 3,7 %, что приводило к увеличению частоты вращения коленчатого вала с ее номинального значения n = 1500 мин$^{-1}$ на режиме с полной нагрузкой (N_e = 36 кВт) до n = 1556 мин$^{-1}$ на режиме холостого хода (N_e = 0 кВт). При испытаниях угол опережения впрыскивания топлива устанавливался равным θ = 13° поворота коленчатого вала (п.к.в.) до верхней мертвой точки (ВМТ).

При испытаниях двигателя была исследована возможность его работы на биогазе с содержанием в

Таблица 2

Основные параметры дизельного двигателя типа Д-246.1 (4 Ч 11/12,5), работающего на биогазе с запальной дозой дизельного топлива

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра D, мм	110
Ход поршня S, мм	125
Рабочий объем цилиндра V_h, л	1,08
Общий рабочий объем iV_h, л	4,32
Степень сжатия ε	16,0
Тип камеры сгорания, способ смесеобразования	Камера сгорания типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование
Система наддува	Дизель не оснащен системой наддува
Номинальная частота вращения n, мин$^{-1}$	1500
Номинальная мощность N_e, кВт	36
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система охлаждения	Водяная, принудительная
Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Фильтр масляный	Сетчатый
Насос масляный	Шестеренчатый
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа PP4M10U1f фирмы *Motorpal* с центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$, мм	10
Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$, мм	10
Длина нагнетательных топливопроводов $L_т$, мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром d_p=0,34 мм и проходным сечением $\mu_p f_p$=0,250 мм^2
Давление начала впрыскивания форсунок $p_{фо}$, МПа	21,5

нем 70 % метана CH_4 (остальной объем биогаза содержал, в основном, диоксид углерода — углекислый газ CO_2). В исследуемом дизеле был реализован двухтопливный цикл работы, при котором подаваемый в камеру сгорания биогаз воспламеняется от запальной дозы нефтяного дизельного топлива (ДТ), впрыскиваемого в цилиндры форсунками штатной системы топливоподачи двигателя. При конвертации на биогаз регулятор исследуемого двигателя поддерживал постоянство запальной дозы ДТ $q_ц$ = 20 мм^3.

Поскольку скоростной режим двигателя на режимах предельной регуляторной характеристики не был постоянным, при снижении нагрузки часовой расход запального ДТ увеличивался от $G_{т\,ДТ}$ = 3,10 кг/ч на режиме с полной нагрузкой (N_e = 36 кВт) до $G_{т\,ДТ}$ = 3,22 кг/ч на режиме холостого хода (N_e = 0 кВт, рис. 6). В результате при снижении нагрузки на дизель доля запального ДТ в его общем расходе топлива увеличивалась с $G_{т\,ДТ}/G_{т\Sigma}$ = 26,7 % на режиме с полной нагрузкой (N_e = 36 кВт) до ее полной величины $G_{т\,ДТ}/G_{т\Sigma}$ = 100 % на режиме холостого хода (N_e = 0 кВт, см. рис. 6). Соответственно, уменьшался расход биогаза с $G_{т\,газа}$ = 10,17 кг/ч на режиме с полной нагрузкой при N_e = 36 кВт (с 73,3 %) до $G_{т\,газа}$ = 0 на режиме холостого хода при N_e = 0 кВт (до 0 % — работа только на ДТ). Это повышает устойчивость и эффективность работы двигателя на режимах малых нагрузок и холостого хода.

На основании полученных при испытаниях значений расходов биогаза и запального ДТ, а также мощностных показателей исследуемого дизеля определены показатели его топливной экономичности. При этом общий удельный эффективный расход топлива g_e исследуемого дизеля проводился с учетом полученных при экспериментах часовых расходов биогаза

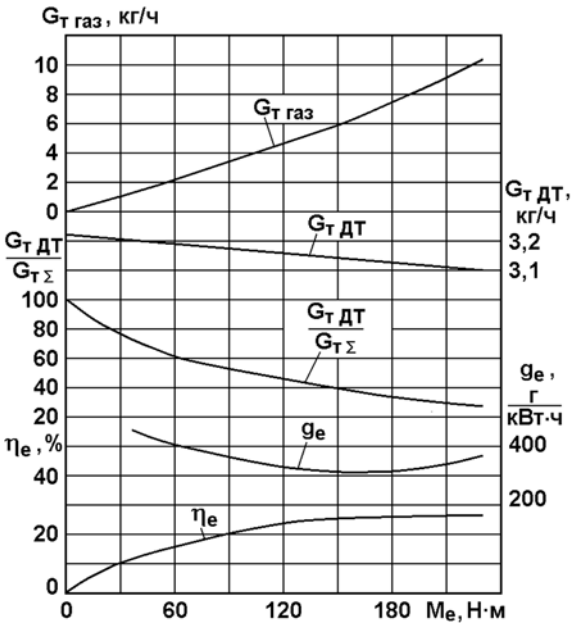


Рис. 6. Показатели дизеля 4 Ч 11/12,5, работающего на режимах предельной регуляторной характеристики при $n_{ном}$ = 1500 мин$^{-1}$ на биогазе с запальной дозой ДТ

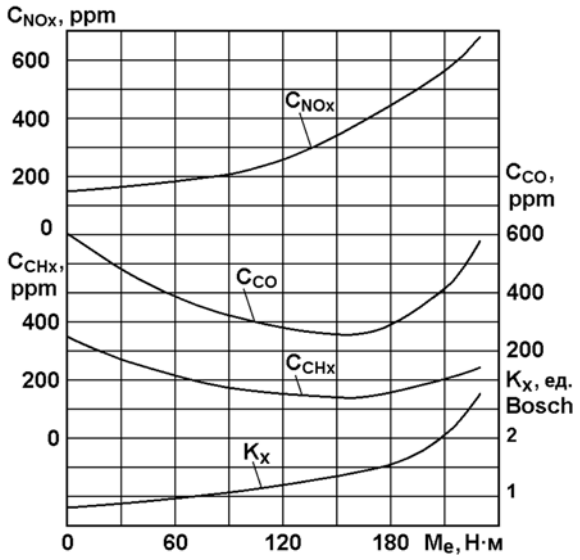


Рис. 7. Показатели токсичности ОГ и их дымности дизеля типа 4 Ч 11/12,5, работающего на режимах предельной регуляторной характеристики при $n_{ном}$ = 1500 мин$^{-1}$ на биогазе с запальной дозой ДТ

$G_{т\ газа}$ и запального ДТ $G_{т\ ДТ}$, а также эффективной мощности двигателя N_e по формуле [8, 9]:

$$g_e = \frac{G_{т\ газа} + G_{т\ ДТ}}{N_e}.$$

Однако этот показатель не учитывает различной теплотворной способности используемых топлив. При этом низшая теплота сгорания исследуемого биогаза составляла $H_{U\ газ}$ = 35,0 МДж/кг, а запального нефтяного ДТ — $H_{U ДТ}$ = 42,5 МДж/кг. Теплота сгорания смеси подаваемых в камеру сгорания топлив определялась соотношением часовых расходов биогаза $G_{т\ газа}$ и дизельного топлива $G_{т\ ДТ}$ [кг/ч] и их теплотворной способностью по соотношению [8, 9]:

$$H_{U_\Sigma} = \frac{G_{т\ газа}}{G_{т\ \Sigma}} H_{U\ газ} + \frac{G_{т\ ДТ}}{G_{т\ \Sigma}} H_{U\ ДТ},$$

где H_{U_Σ} — суммарная теплота сгорания биогаза и запального ДТ и биогаза, МДж/кг.

При обработке результатов экспериментальных исследований расчет эффективного КПД η_e дизеля проводился с учетом различной теплотворной способности используемых топлив по выражению [8, 9]:

$$\eta_e = \frac{3{,}6 N_e}{H_{U_\Sigma}(G_{т\ газа} + G_{т\ ТД})}.$$

В соответствии с представленной методикой рассчитаны значения общего удельного эффективного расхода топлива g_e исследуемого дизеля и его эффективного КПД η_e, представленные на рис. 6. По этим данным можно отметить наличие минимума удельного эффективного расхода g_e = 312 г/(кВт · ч) на режиме с N_e = 24 кВт. Эффективный КПД двигателя по мере уменьшения нагрузки снижается с η_e = = 26,6 % на режиме с полной нагрузкой (N_e = 36 кВт) до η_e = 0 на режиме холостого хода (N_e = 0 кВт).

Полученные экспериментальные данные по показателям токсичности и дымности ОГ исследуемого дизеля 4 Ч 11/12,5 (рис. 7) показывают, что эти показатели также в значительной степени зависят от нагрузки на двигатель. Так, при снижении нагрузки концентрация в ОГ оксидов азота C_{NO_x} снижается от 680 (при N_e = 36 кВт) до 150 *ppm* (при N_e = 0 кВт).

Характеристики содержания в ОГ исследуемого дизеля монооксида углерода C_{CO} и несгоревших углеводородов C_{CH} имеют минимальные значения при нагрузке N_e = 24 кВт (см. рис. 7). Минимальные концентрации в ОГ этих токсичных компонентов составляют C_{CO} = 260 *ppm* и C_{CH} = 140 *ppm*. По мере уменьшения нагрузки на двигатель дымность его ОГ K_x также снижается от 2,8 (при N_e = 36 кВт) до 0,8 единиц по шкале *Bosch* (при нагрузке N_e = 0 кВт).

Проведенные экспериментальные исследования энергетической установки показали возможность бесперебойной выработки электроэнергии из биогаза. При этом номинальная мощность исследуемого дизельного двигателя Д-246.1 (4 Ч 11/12,5) дизель-генераторной установки, адаптированной к работе на биогазе, составляла N_e = 36 кВт (приведенный крутящий момент двигателя M_e = 229 Н · м) при частоте враще-

Таблица 3

Показатели токсичности ОГ и их дымности дизеля типа 4 Ч 11/12,5, работающего и номинальном режиме на ДТ (чисто дизельный цикл) и на биогазе с запальной дозой ДТ (газодизельный цикл с величиной запальной дозы $G_{тДТ}/G_{тΣ}$ = 26,7 %)

Работа на дизельном топливе	Дизель 4 Ч 11/12,5, работающий на биогазе с запальной ДТ, равной 26,7 %						
C_{NO_x}, *ppm*	C_{CO}, *ppm*	C_{CH_x}, *ppm*	K_x, ед. *Bosch*	C_{NO_x}, *ppm*	C_{CO}, *ppm*	C_{CH_x}, *ppm*	K_x, ед. *Bosch*
750	700	250	14,0	680	580	240	2,8

ния коленчатого вала n = 1500 мин$^{-1}$. При этом в соответствии с полученными результатами проведенных экспериментальных исследований на номинальном режиме работы (при полной нагрузке) часовой расход биогаза составил 10,17 кг. В целом проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность энергетической установки для выработки электроэнергии из биогаза, а также эффективность использования биогаза как моторного топлива.

Для оценки полученных результатов экспериментальных исследований дизеля, работающего на биогазе, проведено сопоставление показателей двигателя, в котором реализован двухтопливный цикл работы, с показателями двигателя, работающего на дизельном топливе. Следует отметить, что полученные при испытаниях значения эффективного КПД η_e газодизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5 с воспламенением биогаза от запальной дозы ДТ (η_e = 26,6 % на режиме с N_e = = 36 кВт) являются достаточно высокими. Эффективный КПД этого же двигателя, работающего по чисто дизельному циклу на исследуемом номинальном режиме, обычно не превышает значения η_e = 30 %. Поэтому работу исследуемого дизеля на биогазе с запальной дозой дизельного топлива можно признать эффективной.

Оценку полученных при экспериментальных исследованиях показателей токсичности ОГ и их дымности дизеля 4 Ч 11/12,5, работающего на номинальном режиме на биогазе с запальной дозой ДТ, с аналогичными показателями этого дизеля, работающего по чисто дизельному циклу, можно провести с использованием данных рис. 8, приведенных в работе [10] (при запальной дозе ДТ $G_{т\,дз}$ = 100 %). Сравнение этих данных, полученных на номинальном режиме с полной нагрузкой N_e = 36 кВт при n = 1500 мин$^{-1}$, показывает, что перевод дизеля на указанный газожидкостный цикл позволяет заметно улучшить показатели токсичности ОГ и их дымности. При такой конвертации исследуемого дизеля на биогаз на номинальном режиме концентрация в ОГ оксидов азота C_{NO_x} снижалась от 750 до 680 *ppm* (на 9,3 %), монооксида углерода C_{CO} — от 700 до 580 *ppm* (на 17,1 %), несгоревших углеводородов C_{CH} — от 250 до 240 *ppm* (на 4,0 %), дымность ОГ K_x — от 14,0 до 2,8 единиц по шкале *Bosch* (в 5 раз, табл. 3).

Необходимо отметить, что существенное влияние на показатели газодизельного двигателя, работающего на газовом топливе с запальной дозой ДТ, оказывает величина этой запальной дозы. В проведенных экспериментальных исследованиях газодизельного двигателя 4 Ч 11/12,5, работающего на биогазе с запальной дозой ДТ оценка влияния величины этой дозы на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ не проводилась. Но такую оценку можно провести с использованием данных работы [10] (см. рис. 8) по двигателю 4 Ч 11/12,5, работающему на природном газе с запальной дозой дизельного топлива.

При экспериментальных исследованиях этого двигателя, проведенных на одноцилиндровом отсеке, величина $G_{т\,дз}$ изменялась в диапазоне от 14 до 100 %. Результаты исследований подтвердили зависимость параметров газодизельного двигателя от величины $G_{тдз}$, которая во многом предопределяет и показатели процесса подачи запальной дозы ДТ. Характеристики основных показателей газодизельного двигателя, представленные на рис. 8, показывают, что при снижении запальной дозы ДТ период задержки воспламенения τ_i увеличивается. В диапазоне изменения $G_{тд}$ от 100 % (работа только на ДТ) до 14 % период задержки τ_i возрос от 10 до 22,5° п.к.в., продолжительность впрыскивания $\varphi_{впр}$ снизилась при этом от 22,5 до 10° п.к.в. Равенство $\tau_i = \varphi_{впр}$ = 12,5° п.к.в. отмечено при $G_{т\,дт}$ = 50 %.

Максимальное давление сгорания p_z и среднее индикаторное давление p_i также в значительной степени зависят от $G_{т\,дз}$ (см. рис. 8). С ростом запальной дозы дизельного топлива происходит увеличение этих показателей, но до определенной величины $G_{т\,дз}$. Так, при росте $G_{т\,дз}$ от 14 до 50 % p_z увеличилось от 7,0 до 7,9 МПа, а величина p_i — от 0,753 до 0,765 МПа. Далее по мере увеличения $G_{т\,дз}$ до 100 % наблюдалось снижение p_z до 7,3 МПа и p_i до 9,730 МПа. Отмеченные особенности объясняются в работе [10] тем, что со снижением $G_{т\,дз}$ уменьшается число капель распыливаемого топлива Nк и, соответственно, число очагов начального воспламенения. Это приводит к увеличению периода задержки воспламенения τ_i и снижению максимального давление сгорания p_z.

Представленные на рис. 8 характеристики показателей токсичности ОГ свидетельствуют о том, что минимальные концентрации оксидов азота и моно-

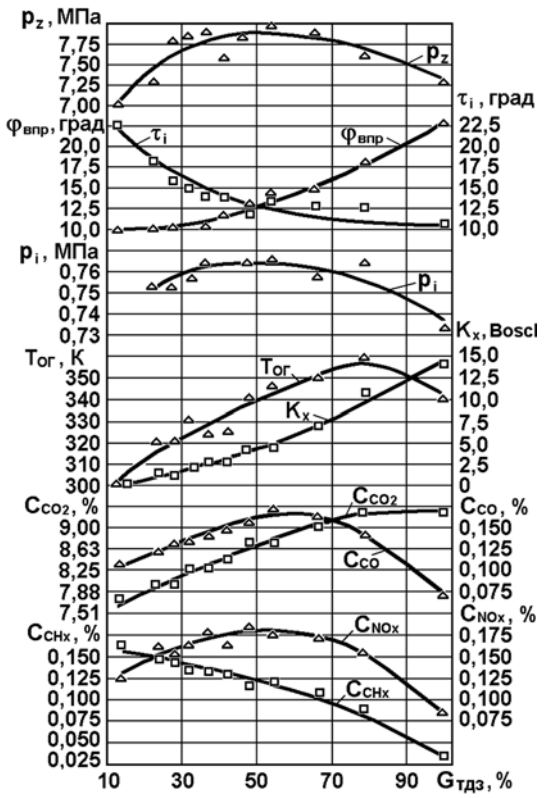


Рис. 8. Влияние запальной дозы ДТ $G_{т\,дз}$ на показатели газодизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5 (данные работы [10])

оксида углерода зарегистрированы при минимальном значении $G_{т\,дз} = 14\,\%$ и составили $C_{NO_x} = 0{,}125\,\%$, $C_{CO} = 0{,}110\,\%$ (при $G_{т\,дз} = 100\,\%$ эти показатели равны $C_{NO_x} = 0{,}085\,\%$, $C_{CO} = 0{,}070\,\%$). Максимальные значения этих концентраций $C_{NO_x} = 0{,}180\,\%$, $C_{CO} = 0{,}165\,\%$ соответствуют запальной дозе дизельного топлива $G_{т\,дз}$ от 50 до 60 %. При снижении величины $G_{т\,дз}$ от 100 до 14 % дымность ОГ K_x монотонно снижается с 14 единиц по шкале *Bosch* практически до 0. В диапазоне снижения $G_{т\,дз}$ от 100 до 14 % содержание в ОГ несгоревших углеводородов C_{CH_x} увеличилось от 0,03 до 0,16 %, а концентрация диоксида углерода C_{NO_2}, напротив, снизилась от 9,4 до 7,7 %.

Таким образом, зависимости основных показателей газодизельного двигателя 4 Ч 11/12,5 (p_z, p_i, C_{NO_x}, C_{CO}) от запальной дозы ДТ (см. рис. 8) имеют выраженный максимум при значении $G_{т\,дз} = 50\,\%$, соответствующем равенству периода задержки воспламенения τ_i и продолжительности впрыскивания $\varphi_{впр}$ ($\tau_i = \varphi_{впр} = 12{,}5^\circ$ п.к.в.). Поскольку при выборе запальной дозы ДТ целесообразно минимизировать ее величину, наибольший интерес представляет область, соответствующая неравенству $\varphi_{впр} < \tau_i$. Но при минимизации величины $G_{т\,дз}$ необходимо обеспечить требуемый уровень интенсивности впрыскивания, обеспечивающий лучшее качество распыливания и увеличение числа капель распыливаемого топлива.

Таким образом, проведенные обобщение и оценка полученных результатов экспериментальных исследований энергетической установки для выработки электроэнергии из биогаза доказывают эффективность конвертации дизельного двигателя дизель-генераторной установки на биогаз с запальной дозой ДТ. При этом удается сохранить топливную экономичность дизельного двигателя на уровне, характерном для чисто дизельного цикла, но при этом существенно улучшаются показатели токсичности и дымности ОГ. Следует отметить также необходимость оптимизации величины запальной дозы ДТ с учетом показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизельного двигателя. При прочих равных условиях необходимо снижение величины запальной дозы, что обеспечит экономию нефтяного ДТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Александров А. А., Архаров И. А.** Моторные топлива. Современные аспекты безопасного хранения и реализации в городах-мегаполисах. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 352 с.
2. **Альтернативные топлива** для двигателей внутреннего сгорания / А. А. Александров, И. А. Архаров, В. А. Марков и др. Под ред. А. А. Александрова, В. А. Маркова. — М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. — 791 с.
3. **Биоэнергетика России в XXI веке.** Российское энергетическое агентство. — М.: ФГБУ РЭА МИНЭНЕРГО РФ, 2012. — 37 с.
4. **Инновационное развитие альтернативной энергетики:** Часть 1 / В. Ф. Федоренко, Н. Т. Сорокин, Д. С. Буклагин и др. — М.: ФГНУ "Росинформагротех". — 2010. — 348 с.
5. **Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.** Биогаз: Теория и практика: перевод с немецкого. — М.: Колос, 1982. — 140 с.
6. **Сидоренко О. Д.** Биологические технологии утилизации отходов животноводства. — М.: Изд-во МСХА, 2001. — 74 с.
7. **Панцхава Е. С., Беренгартен М. Г., Ванштейн С. И.** Биогазовые технологии. Проблемы экологии, энергетики, сельскохозяйственного производства. — М.: МГУИЭ, ЗАО Центр "ЭКОРОС", 2008. — 217 с.
8. **Использование биогаза** в качестве топлива для дизелей / С. Н. Девянин, В. Л. Чумаков, В. А. Марков и др. // Грузовик. — 2011. — № 11. — С. 32—43.
9. **Двигатели внутреннего сгорания.** Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / В. П. Алексеев, В. Ф. Воронин, Л. В. Грехов и др. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. — М.: Машиностроение, 1990. — 288 с.
10. **Рыспанов Н. Б.** Расчетно-экспериментальное исследование влияния запальной дозы топлива на рабочий процесс газожидкостного двигателя // Двигателестроение. — 1991. — № 6. — С. 7—8.

ABSTRACTS OF ARTICLES

2 *Batyschev D. V., Ryzykov V. A.* The system of distributed injection of gas with water supply in cylinders of an interval combustion engine
The analysis of use of gas is given fuel in an internal combustion engine power supply system. The system of the distributed injection of gas with water supply in cylinders is developed. The algorithm of management is reasonable by work of fuel and water nozzles as electronic control units. The design of an air collector with a water stage of the car VAZ-2110 is developed. External high-speed characteristics of an internal combustion engine are proved during the work on gas — a water mix.
Keywords: engine, internal, combustion, gas, water, mix, management, design

5 *Sokolov R., Ilyin A.* Constructive decisions of wheels (tyres) raised survivability
In article constructive decisions of wheels (tyres) applied now raised survivability, capable to keep possibility of movement of the car on certain distance in case of damage (a puncture, a cut, a lumbago) its wheel are described.
Design features, advantages and lacks of tyres with the spongy chamber, tyres with filler from foamy weight, wheels with the internal terminator of deformation and rasporno-germetizirujushchim a ring, wheels with the external terminator of deformation, and also tyres with strengthened Lateral surface of the tyre are considered.
Keywords: the car, the tyre, design, advantages, lacks, mobility

8 *Bekmagambetov M. M., Kochetkov A. V.* Review of world experience of development of intellectual transport systems
Is considered experience of development of intellectual transport systems of developed countries and CIS countries. Tendencies of development of human knowledge, technologies allow to expect that in complete type of ITS will bear in itself all characteristic features of intellectual systems — ability to interaction with users and to the solution of complex badly formalizable challenges, self-training and adaptability.
Keywords: intellectual transport systems, experts, world experience, development, telematics

17 *Maksimov V., Sumatohin D., Sarbaev V.* Analysis of factors determine the route consumption of city buses in service
This article analyzes the determinants of trip fuel consumption of city buses in operation.
Keywords: experimental studies, experts, trip fuel consumption, the organizational factors

20 *Nguyen Hung Manh, Rementsov A.* Organization of passenger transport in Vietnam
The article presents the analysis of passenger transport in Vietnam. Demand for passenger transport has been increasing. Improvement of the efficiency and futher development of passenger transport is one of the most important social — economic missions in Vietnam.
Keywords: Vietnam, automobile transport, passenger transport

23 *Kopotilov V. I.* Rolling resistance wheels as the reaction of the longitudinal support surface
The analysis of version of rolling resistance as the reaction of the longitudinal support surface is given. The wrong idea is shown that the power rolling resistance is in the contact area, and its value is determined by the kinematic or free — wheel radius, indicating a need to clarify the physical nature of the power itself and reveal the mechanism of its formation.
Keywords: rolling wheels, the power rolling resistance, wheeler, kinematic wheel radius, dynamic wheel radius, support surface, tangent reaction

30 *Mikulik T., Reizina G.* Research of parameters for vibronagruzhennost operator seat (driver)
The aim of this work is theoretical and experimental studies on the effects of fluctuations in the operator (driver). The obtained results allow us to evaluate the elastic-damping characteristics of the seat, the complexity of perception of vibration driver.
Keywords: suspension seats, vibronagruzhennost, tension index, the physiological state of the operator (driver)

33 *Poljakova T. U., Rementsov A. N.* English-Russian Concise Dictionary of Terminology for Motor Transport Specialists
The paper describes learning English-Russian and Russian-English concise dictionary of terminology "Automobile Maintenance" which was compiled within the Programme of Strategic Development of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). It also deals with the implementation of the dictionary in the sphere of education and profession of motor transport specialists.
Keywords: concise dictionary of terminology, professional foreign language communication, automobile maintenance, terminology, dictionary structure

36 *Sharapova I. K., Gulyi V. V.* Comparative effectiveness analysis the operation of automobiles, use different kinds of energy carriers for city passenger transportations
The article describes the main types of alternative motor fue1s and energy carriers, compare them to identify the most economically and environmentally efficient for urban passenger transport.
Keywords: alternative fuels, emissions, petrol, diesel, liquefied petroleum gas, electromobiles, air cars

41 *Markov V. A., Devyanin S. N., Shimchenko S. P.* Experimental research on diesel generator set running on biogas
The necessity of using biogas as motor fuel for internal combustion engines is proved. Experimental investigation of a type 4Ч 11/12,5 diesel engine running on biogas with ignition dose of diesel fuel is carried out.
Keywords: diesel engine, biogas, methane, ignition dose of diesel fuel, exhaust gases toxicity

Художественный редактор *Т. Н. Галицына.* Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *З. В. Наумова*
Сдано в набор 11.02.2014. Подписано в печать 24.03.2014. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5.88.
Отпечатано в ООО «Белый ветер», 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4