Журнал выходит при информационной поддержке АМО ЗИЛ, ОАО "КАМАЗ", ОАО "МАЗ", ОАО "МЗКТ", АЗ "Урал"

Учредитель
ООО "Издательство Машиностроение"

Зам. главного редактора
И. А. Хороманская

Редакционный совет

Д. Х. Валеев
М. С. Высоцкий
В. А. Зорин
Н. А. Иващенко
Л. Г. Красневский
В. В. Корсаков
А. С. Кузнецов
В. Г. Мазепа
В. А. Марков
В. Ф. Платонов
Г. Н. Рейзина
Е. Л. Рыбин
Г. А. Синеговский
А. Ф. Синельников
В. С. Устименко
Х. А. Фасхиев

Корпункты:
в Республике Беларусь
(г. Минск), Я. Е. Карповский
Тел.: (10-375-17), 246-10-33, 217-90-38
в Украине (г. Харьков),
В. Г. Дьяченко
Тел. (10-380-572) 707-68-48

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

Подписной индекс:
по каталогу "Роспечать" 72145,
по объединенному каталогу
"Пресса России" 41302,
по каталогу "Почта России" 60262

© ООО "Издательство Машиностроение", "Грузовик", 2010

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.

Грузовик
с приложением

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
Выпускается с 1996 г.

В номере

Конструкция

2 *Марков В. А., Шустер А. Ю., Девянин С. Н.* Выбор формы и размеров камеры сгорания дизеля, работающего на смесевом биотопливе

Эксплуатация. Ремонт

13 *Рудой А. П., Жовтянский В. А., Микаелян С. Г.* Возможности восстановления ходовых и моторных частей электро- и автотранспорта

16 *Максименко А. Н., Кутузов В. В., Сидоров А. Н.* Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ

22 *Засуха В. П., Воротилова Н. М., Калимуллин Р. Ф.* Экспертная оценка эффективности действия ремонтно-восстановительных препаратов для автомобилей

Исследование. Расчет

28 *Чичко А. Н., Захарик Ю. М., Яцкевич Ю. В., Матюшинец Т. В., Чичко О. И.* Нейроалгоритмы в автомобилестроении

37 *Захарик А. М., Корсаков В. В., Рухтишель О. Р., Крутицкий С. В., Сидоренко Д. Н.* Оценка вибронагруженности узлов автомобиля с учетом упругих свойств его рамы

Технология

42 *Коберниченко А. Б., Алмазов В. В., Куприянов Г. В., Шкодкин А. В., Наумкин Ф. С., Скопцов Д. В.* Технологические факторы холодного газодинамического напыления при восстановлении стальных деталей автомобилей

Надежность

45 *Козловский В. Н., Малеев Р. А.* Обоснование проблемы обеспечения качества и надежности электрооборудования в составе гибридной силовой установки автомобиля

15,36, 41,44 *Новости*

48 *Contents*

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

№ 2 '2010 (№ 163)

УДК 621.426

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

Выбор формы и размеров камеры сгорания дизеля, работающего на смесевом биотопливе

Рассмотрены особенности протекания процесса распыливания топлива в дизеле, работающем на биотопливах на основе рапсового масла. Показана необходимость согласования длины струй распыливаемого топлива с геометрическими размерами камеры сгорания. Проведены расчетные исследования дизеля Д-245.12С с камерами сгорания различных формы и размеров.

Ключевые слова: *дизель, камера сгорания, дизельное топливо, рапсовое масло, смесевое биотопливо.*

В связи с ростом мировых цен на нефтепродукты и сокращением запасов нефти все более актуальными становятся работы, направленные на использование в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) альтернативных топлив. Актуальной является и необходимость снижения выбросов в окружающую среду углекислого газа, относящегося к группе "парниковых газов". Поэтому особый интерес представляет использование в ДВС топлива из растительного сырья. Одним из наиболее перспективных альтернативных биотоплив являются растительные масла (рапсовое, подсолнечное, кукурузное и др.) и топлива на их основе (смесевые топлива, сложные эфиры растительных масел и др.) [1, 2]. Топлива из растительных масел отличаются высокой биоразлагаемостью. Попадая в почву и природные водные бассейны они практически полностью разлагаются в течение нескольких недель. Растительные масла отличаются хорошими экологическими качествами из-за малого содержания в них серы и полициклических ароматических углеводородов [3].

Применительно к условиям Европейской части России наиболее перспективным считается использование биотоплив, получаемых из рапсового масла (РМ) [4]. Оно может применяться в качестве топлива для дизелей в чистом виде, в смеси с дизельным топливом (ДТ), в виде метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) или его этилового эфира. Использование биотоплив на базе РМ позволит заменить нефтяные топлива топливами растительного происхождения и улучшить экологические показатели дизеля. Вместе с тем, эти биотоплива заметно отличаются от ДТ по физико-химическим свойствам: они имеют большую вязкость, повышенные плотность и поверхностное натяжение, меньшую сжимаемость [4, 5].

Указанные особенности физических свойств растительных масел и топлив на их основе оказывают заметное влияние на параметры процесса топливоподачи, приводя к трансформации характеристик впрыскивания и распыливания этих топлив и последующих процессов смесеобразования и сгорания. Высокие плотность и вязкость этих топлив, подаваемых в камеру сгорания (КС) штатной системой топливоподачи дизеля, являются причиной увеличения их цикловой подачи и часового расхода по сравнению с дизельными топливами по ГОСТ 305—82. Повышенная плотность растительных масел и топлив на их основе приводит к увеличению дальнобойности струй распыливаемого топлива. Об этом свидетельствуют представленные на рис. 1 характеристики длины струй L распыливаемых топлив различной плотности, полученные для дизеля типа Д-245.12 (4 ЧН 11/12,5), рабо-

тающего на номинальном режиме при $n = 2400$ мин$^{-1}$ [4]. В частности, уменьшение плотности топлива ρ с 1000 до 700 кг/м^3 приводит к сокращению длины струи L с 130,97 до 104,54 мм (в момент времени $t = 3{,}45$ мс), т. е. на 20 %. Такое уменьшение плотности топлива соответствует, например, переводу двигателя с касторового масла (ρ = 1070 кг/м^3) на бензин (ρ = 750 кг/м^3). Перевод двигателя с РМ на МЭРМ сопровождается уменьшением плотности топлива ρ с 916 до 877 кг/м^3 (при нормальных условиях). С учетом повышенных температур топлива в системе топливоподачи и воздуха в КС дизеля можно принять, что при переходе с РМ на МЭРМ реальная плотность топлива ρ в этих условиях изменяется примерно с 900 до 850 кг/м^3. В момент времени $t = 3{,}45$ мс это приводит к сокращению длины струи L с 122,33 до 117,98 мм, т. е. на 4,35 мм (см. кривые 5 и 4 на рис. 1).

Следует также отметить, что МЭРМ отличается лучшей самовоспламеняемостью в условиях КС дизеля по сравнению с РМ (их цетановые числа равны соответственно 48 и 36 единиц, а температуры самовоспламенения 230 и 318 °С). Поэтому период задержки воспламенения МЭРМ будет заметно меньше этого периода для РМ. В частности, для параметров воздушного заряда в КС, исследуемых в работе [6], при угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) θ = 26° поворота коленчатого вала (п. к. в.) до верхней мертвой точки (ВМТ) период задержки воспламенения РМ составил $\tau_i = 1{,}25$ мс, а дизельного топлива $\tau_i = 1{,}00$ мс. С учетом примерно одинаковых значений цетанового числа ДТ и МЭРМ можно принять, что для МЭРМ период задержки самовоспламенения τ_i также равен примерно 1,00 мс. Учитывая указанные значения τ_i для РМ и МЭРМ и используя данные рис. 1 для топлив плотностью ρ = 900 и 850 кг/м^3 (соответственно кривые 5 и 4), получим, что к моменту самовоспламенения РМ и МЭРМ длины их струй L будут равны соответственно 74,5 и 62,0 мм. Таким образом, разница в длине струй распыливаемых РМ и МЭРМ составит 12,5 мм, т. е. около 17 %. Примерно такая же разница в длине струй характерна для РМ и ДТ. В результате за период задержки воспламенения струи распыливаемого РМ достигают стенок КС, часть топлива, попадающая на стенки, не сгорает полностью, уменьшается доля объемного смесеобразования, возможны потери подвижности поршневых колец и загрязнение моторного масла [7—10]. Поэтому важнейшим условием обеспечения высокого качества процесса смесеобразования в дизелях является согласование геометрических характеристик струй топлива с формой КС.

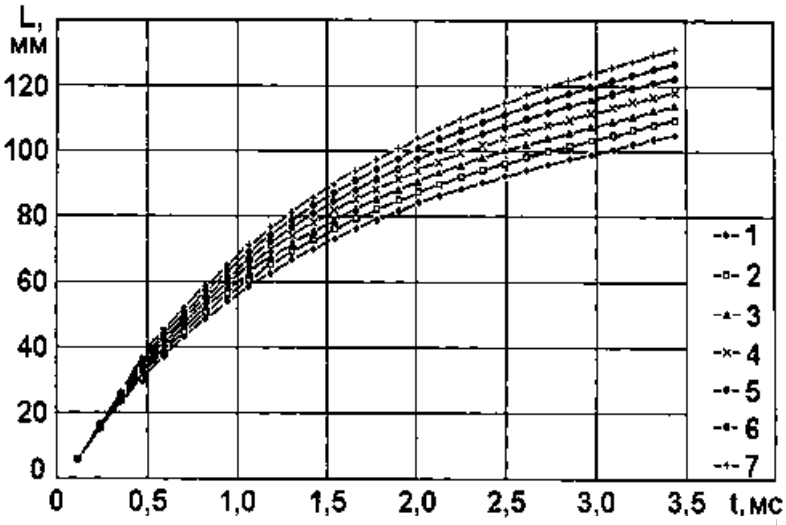

Рис. 1. Динамика развития струй в зависимости от плотности распыливаемых топлив ρ:

1 — 700 кг/м^3; 2 — 750 кг/м^3; 3 — 800 кг/м^3; 4 — 850 кг/м^3; 5 — 900 кг/м^3; 6 — 950 кг/м^3; 7 — 1000 кг/м^3

Необходимо также учитывать, что из-за высокой вязкости растительных масел и их повышенного коэффициента поверхностного натяжения уменьшается угол раскрытия топливного факела и ухудшается мелкость распыливания (в частности, увеличивается средний диаметр капель). Кроме того, увеличенное поверхностное натяжение растительных масел повышает неоднородность их распыливания. Вследствие больших значений их плотности и вязкости увеличивается максимальное давление впрыскивания. По-

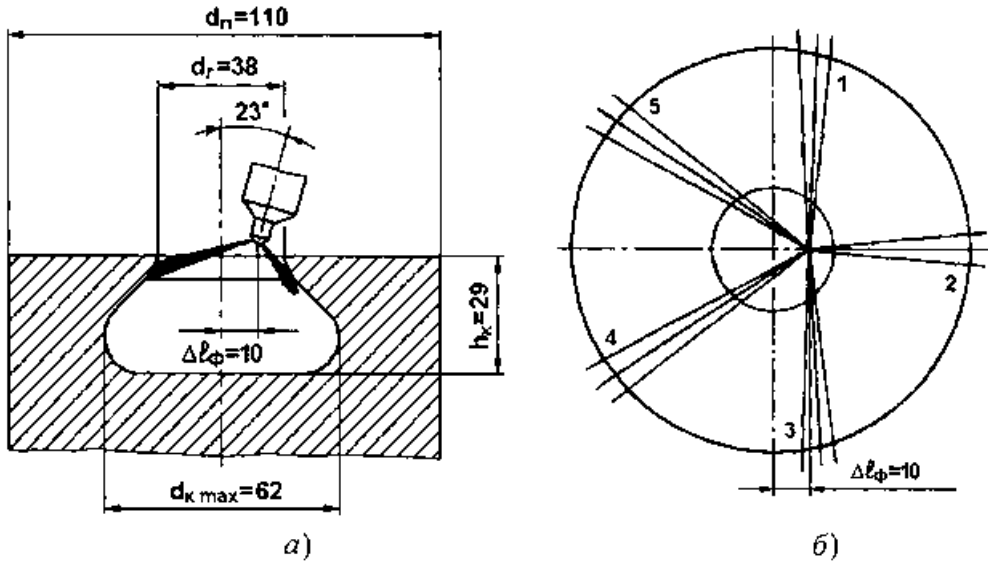

Рис. 2. КС дизеля Д-245.12С со схемой расположения форсунки (а) и ориентация струй распыливаемого топлива в КС (б):

1—5 — номера струй распыливаемого топлива

этому необходимо смещать действительный момент начала впрыскивания в сторону увеличения УОВТ. Все эти факторы свидетельствуют о важности правильного выбора формы и размеров КС дизелей и целесообразности реализации мероприятий, способствующих улучшению качества процессов подачи топлива, его распыливания и смесеобразования при работе дизеля на растительных маслах и топливах на их основе.

Значительное влияние формы и размеров КС на показатели дизелей отмечено в целом ряде работ [11—16]. В силу указанных выше причин это влияние еще более значительно в дизелях, работающих на растительных маслах и топливах на их основе. При этом необходимо учитывать, что к работе на биотопливах в большей степени приспособлены дизели с разделенными и полуразделенными КС, в которых топливо впрыскивается в предкамеру, вихревую камеру или в камеру сгорания в поршне, что уменьшает вероятность попадания биотоплив на зеркало цилиндра, в канавки поршневых колец, в моторное масло [4]. В результате уменьшаются нагаро- и коксообразование на стенках цилиндра, возможность потери подвижности поршневых колец и загрязнения моторного масла. Но поскольку разделенные КС не позволяют обеспечить современные показатели топливной экономичности, ниже рассмотрены лишь дизели, имеющие полуразделенные и неразделенные КС. Наиболее известные из этих КС представлены на рис. 2 и 3 [17—20].

Характерной является организация процесса смесеобразования в дизеле типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода, имеющем полуразделенную камеру сгорания типа ЦНИДИ. В этом двигателе организовано объемно-пленочное (пристеночное) смесеобразование с частичным попаданием топливного факела на боковые стенки КС, прилегающие к горловине. Камера сгорания типа ЦНИДИ выполнена с диаметром горловины $d_г = 38$ мм, наибольшим диаметром камеры $d_{к\,max} = 62$ мм и глубиной $h_к = 29$ мм (рис. 2). Топливо подается на горячие кромки горловины и внутренние стенки камеры сгорания вблизи горловины, что обеспечивает стабильное воспламенение биотоплива. Характерная особенность этой КС состоит в том, что диаметр горловины составляет примерно 30 % от диаметра поршня. В результате на такте сжатия в КС наблюдается выраженное торообразное вихревое движение воздуха, что помогает улучшить качество процесса смесеобразования.

Полуразделенные камеры сгорания имеют и некоторые другие двигатели — дизели Д-21 (2 Ч 10,5/12) и Д-144 (4 Ч 10,5/12) Владимирского тракторного завода, дизели СМД-14Н (4 Ч 12/14) и СМД-60 (6 ЧН 13/11,5) Харьковского завода "Серп и молот", дизель ЯМЗ-238 (8 ЧН 13/14) Ярославского моторного завода, дизели А-41 и А-90 ТК (8 ЧН 16,5/17) Алтайского моторного завода и др. С неразделенной камерой сгорания типа Гессельман выполнен двигатель В-30Б (8 ЧН 15/18)

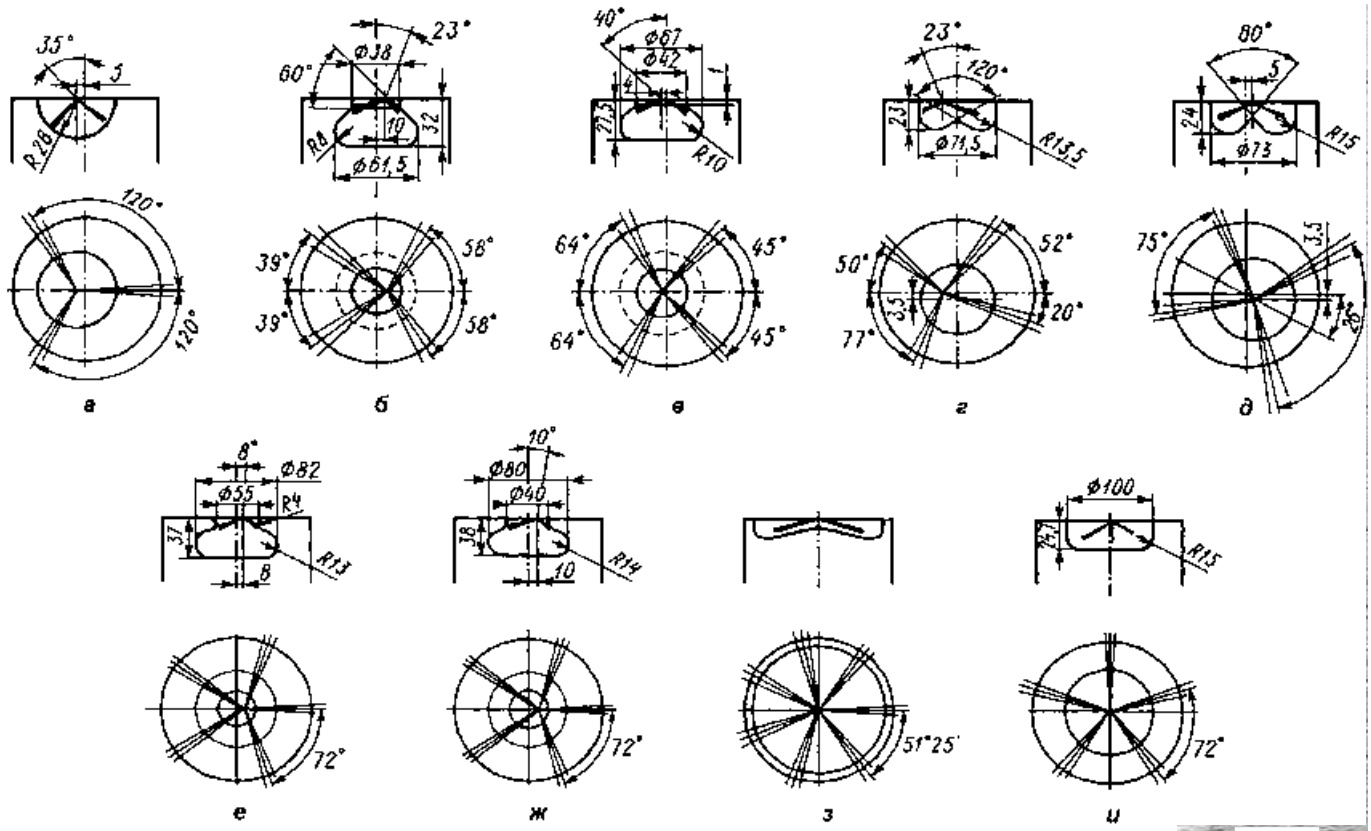

Рис. 3. Схемы камер сгорания автотракторных дизелей:

а — Д-21 (2 Ч 10,5/12) и Д-144 (4 Ч 10,5/12); б — Д-240 (4 Ч 11/12,5); в — СМД-14Н (4 Ч 12/14); г — СМД-60 (6 ЧН 13/11,5), СМД-62 (6 ЧН 13/11,5) и СМД-31 (6 ЧН 12/14); д — ЯМЗ-238 (8 ЧН 13/14) и А-41 (4 ЧН 13/14); е — Д-108 (4 Ч 14,5/20,5), Д-160 (6 ЧН 14,5/20,5) и Д-200 (6 ЧН 14,5/20,5); ж — 8ДВТ-330 (8 ЧН 15/16); з — В-30Б (8 ЧН 15/18); и — А-90ТК (8 ЧН 16,5/17)

производства Челябинского тракторного завода. Камеры сгорания этих двигателей, а также некоторых других автотракторных дизелей представлены на рис. 3.

Оценка влияния формы КС на показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) дизелей, работающих на смесевых биотопливах, а также оптимизация формы КС путем проведения экспериментальных исследований являются достаточно трудоемкими. Для решения указанных задач целесообразно использовать расчетные методы, позволяющие исследовать большое число различных конструктивных вариантов формы КС и соответствующих вариантов организации процесса смесеобразования.

Для моделирования рабочего процесса дизеля с различными формами КС использован программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК, разработанный в МГТУ им. Н. Э. Баумана и предназначенный для расчетных исследований рабочих процессов двух- и четырехтактных ДВС без наддува и с турбонаддувом [21—25]. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК позволяет проводить расчетные исследования рабочего процесса практически любых ДВС. Применение математических моделей, отражающих сущность физических процессов, происходящих в двигателе, позволяет получить высокую точность результатов численного эксперимента.

Для расчета смесеобразования и сгорания в дизелях используется РК-модель, в основе которой лежит расчетный метод, предложенный в начале 90-х годов профессором Н. Ф. Разлейцевым и в дальнейшем доработанный доцентом

А. С. Кулешовым. РК-модель учитывает особенности характеристики впрыскивания, включая многофазное впрыскивание, мелкость распыливания топлива, ориентацию струй в объеме КС, динамику развития топливных струй, взаимодействие струй с воздушным вихрем и стенками. Учитываются условия развития каждой топливной струи и образованных струями пристеночных потоков, а также их взаимодействие между собой.

В расчетной модели тепловыделения определены четыре периода, отличающиеся физико-химическими особенностями и факторами, лимитирующими скорость процесса: период задержки воспламенения, период начальной вспышки, период управляемого сгорания на участке топливоподачи после вспышки, период диффузионного горения после окончания топливоподачи.

Математическая модель газообмена учитывает нестационарное течение газа в каналах, влияние соседних цилиндров и устройство преобразователя импульсов. Газовоздушный тракт комбинированного ДВС, состоящий из впускного коллектора, впускных клапанных каналов, цилиндра, выпускных клапанных каналов, выпускного коллектора и преобразователя импульсов условно разбит на фрагменты, обменивающиеся между собой массой и энергией. Для каждого из фрагментов решается система уравнений сохранения массы, энергии, количества движения и уравнение состояния с характерными для данного фрагмента допущениями. В каждом фрагменте, кроме преобразователя импульсов, учитывается теплообмен со стенками. В протяженных фрагментах с высокими градиентами давления течение рассматривается как одномерное нестационарное. При этом используется методика расчета параметров в протяженном фрагменте, впервые предложенная профессором А. С. Орлиным.

При расчете параметров газа в выпускном коллекторе граничные условия со стороны турбины задаются уравнением, аппроксимирующим ее расходную характеристику. Для расчета смешения потоков из двух коллекторов в преобразователе импульсов, расположенном перед турбиной или непосредственно в ее улитке, используется система уравнений эжектора.

Полное давление ОГ и их температура в зоне смешения определяются по различным методикам в зависимости от конструкции преобразователя импульсов. Далее по расходной характеристике турбины определяется расход газа при полученных параметрах торможения. Во время продувки цилиндра четырехтактного ДВС используется допущение о "полном перемешивании" и мгновенном распространении возмущений. Весь объем цилиндра представляет собой единую термодинамическую систему, в которой и определяются параметры газа.

Параметры турбин и компрессоров учитываются разными способами: задаются в явном виде, вычисляются из условия баланса турбины и компрессора, определяются путем согласования характеристик турбины и компрессора. Методика совместного расчета поршневого ДВС и агрегатов наддува на различных режимах позволяет прогнозировать скоростные, нагрузочные, высотные и другие характеристики комбинированных двигателей. Возможен подбор агрегатов наддува для обеспечения требуемых характеристик комбинированного двигателя.

Теплообмен моделируется раздельно для разных поверхностей, температура которых определяется путем решения задачи теплопроводности. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке цилиндра определяется по формуле Г. Вошни.

Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК включает подпрограмму расчета образования оксидов азота в цилиндре ДВС, основанную на термическом механизме на основе схемы Я. Б. Зельдовича. Определение состава продуктов сгорания осуществляется по 18 компонентам. Для определения температуры используется зонная модель (методика профессора В. А. Звонова).

Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК включает подпрограмму расчета эмиссии сажи, основанную на методике профессора Н. Ф. Разлейцева, в которой сделана попытка учета влияния особенности процесса горения распыленного топлива на образование и выгорание сажевых частиц. Принято, что сажевые частицы образуются преимущественно двумя путями: в результате цепного деструктивного превращения молекул топлива, диффундирующих от поверхности капель к фронту пламени, и вследствие высокотемпературной термической полимеризации и дегидрогенизации парожидкостного ядра испаряющихся капель топлива. Параллельно этим двум процессам происходит процесс выгорания сажевых частиц и уменьшения их объемной концентрации вследствие расширения.

Таблица 1

Некоторые параметры дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5)

№	Параметры	Значения
1	Тип двигателя	Четырехтактный, рядный
2	Число цилиндров	4
3	Диаметр цилиндра D, мм	110
4	Ход поршня S, мм	125
5	Рабочий объем цилиндра V_h, л	1,08
6	Общий рабочий объем iV_h, л	4,32
7	Степень сжатия ε	16,0
8	Система питания	ТНВД типа PP4M10U1f фирмы Motorpal
9	Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$, мм	10
10	Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$, мм	10
11	Длина нагнетательных топливопроводов, $L_т$, мм	540
12	Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО "Куроаппаратура" (г. Вильнюс)
13	Распылители форсунок	Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью распыливающими отверстиями с $d_р = 0{,}34$ мм и $\mu_р f_р = 0{,}250$ мм^2
14	Давление начала впрыскивнаия форсунок $p_{фо}$, МПа	21,5

Представленное описание программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК и проведенные расчеты показателей быстроходных дизелей подтверждают возможность его использования для моделирования рабочего процесса дизелей как с полуразделенными камерами, так и с неразделенными КС.

В качестве объекта расчетных исследований выбран дизель типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5). Некоторые параметры дизеля представлены в табл. 1.

При расчетных исследованиях этот дизель, изначально имеющий КС типа ЦНИДИ (см. рис. 2), поочередно оснащался наиболее характерными камерами сгорания, представленными на рис. 3. Основные геометрические размеры исследуемых камер сгорания приведены в табл. 2. Следует отметить, что в камерах сгорания на рис. 3 форсунки установлены с различным смещением относительно оси КС (в дизеле типа Д-245.12С это смещение составляет $\Delta l_ф = 10$ мм, см. рис. 2). Поэтому для корректности сравнения показателей дизеля с КС различной формы рассматривался лишь вариант с симметричным расположением форсунок, т. е. с их нулевым смещением относительно оси КС ($\Delta l_ф = 0$).

В общем случае при изменении формы КС меняется и объем надпоршневого пространства, а следовательно, и степень сжатия ε. Поэтому для корректности сравнения расчетных показателей дизеля степень сжатия дизеля с различными КС принята неизменной (ε = 16 = const). Камеры сгорания (рис. 3, а—д) использованы в дизелях, имеющих близкие размерности: диаметр цилиндров этих дизелей изменяется от 105 до 130 мм. При этом диаметр цилиндра базового дизеля Д-245.12С составляет $D = 110$ мм (см. табл. 1). Поэтому при расчетах параметров дизеля с КС, показанными на рис 3, а—д, размеры КС приняты такими же, как указано на этих рисунках. В дизеле А-90ТК (см. рис. 3, и) диаметр цилиндра существенно больше, чем в базовом двигателе Д-245.12С и составляет 165 мм. Поэтому при расчетах параметров базового дизеля Д-245.12С с указанной КС размеры этой камеры скорректированы. Для КС (рис. 3, и) принято, что диаметр камеры $d_к = 70$ мм, а ее глубина $h_к = 25$ мм.

Таблица 2

Исследуемые камеры сгорания

Тип камеры сгорания дизеля	Диаметр КС, мм		Наибольшая глубина КС, мм
	наибольший	наименьший	
Д-245.12С (рис. 2)	62	38	29
Д-21 и Д-144 (рис. 3, а)	56	—	28
СМД-14Н (рис. 3, в)	67	42	27,5
СМД-60, СМД-62 и СМД-31 (рис. 3, г)	71,5	71,5	23
А-41 и ЯМЗ-238 (рис. 3, г)	73	73	24
А-90ТК (рис. 3, и)	70	70	25

Таблица 3

Расположение распыливающих отверстий распылителей Motorpal DOP 119S534

№ отверстия	Угловое расположение отверстия относительно штифта, °	Угол наклона отверстия относительно оси распылителя, °
1	8	63,5
2	90	72,0
3	172	63,0
4	237	52,5
5	303	53,5

Как следует из табл. 1, базовый двигатель оснащен распылителями типа DOP 119 S 534 фирмы Motorpal (Чехия). Эти распылители имеют иглу с диаметром направляющей части $d_{напр} = 5$ мм и с максимальным ходом $h_и = 0{,}3$ мм. Причем они выполнены с выходом распыливающих отверстий на конус седла иглы форсунки. Расположение распыливающих отверстий распылителей Motorpal DOP 119 S 534 приведено в табл. 3.

Следует отметить, что программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК позволяет проводить расчетные исследования дизелей, работающих не только на традиционном ДТ, но и на альтернативных топливах — на растительных маслах, их эфирах, смесях указанных биотоплив с ДТ и др. Математическое моделирование рабочего процесса дизеля Д-245.12С с различными типами КС проведено при его работе на смесевом биотопливе, содержащем 80 % ДТ и 20 % РМ. Как показано в ряде работ [1, 26, 27] именно такой состав смесевого биотоплива позволяет обеспечить, с одной стороны,

Таблица 4

Физико-химические свойства различных топлив

Физико-химические свойства	Топлива		
	ДТ	РМ	80 % ДТ + 20 % РМ
Молекулярная масса	190	298	212
Содержание, % по массе: C H O	 87,0 12,6 0,4	 78,0 10,0 12,0	 85,2 12,1 2,7
Плотность, кг/м^3: при 20 °С при 50 °С	 830 808	 916 897	 948 826
Кинематическая вязкость, мм^2/с: при 20 °С при 50 °С	 3,8 2,1	 75,0 29,5	 9,0 4,5
Динамическая вязность, Па · с при 20 °С при 50 °С	 0,00315 0,00170	 0,06870 0,02646	 0,007632 0,003717
Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м: при 20 °С при 50 °С	 0,0271 0,0253	 0,0332 0,0318	 0,0283 0,0266
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42500	37300	41500
Условная энергия активации предпламенных реакций, кДж/моль	22,0	30,0	23,6
Цетановое число	45	36	43
Удельная теплота парообразования, кДж/кг	250	200	240
Давление насыщенных паров при $T = 480$ К, кПа	4,77	0	3,82
Давление насыщенных паров при $T = 710$ К, кПа	161,6	1220	153,3
Теплоемкость топлива при температуре форсунки 50 °С, Дж/(кг · К)	1853	2000	1882

Примечание: для смеси ДТ и РМ указано объемное процентное содержание компонентов.

Таблица 5

Закон подачи топлива дизеля Д-245.12С на режиме с частотой вращения n = 2400 мин$^{-1}$ и цикловой подачей $q_ц$ = 80 мм^3

Угол поворота вала φ, °	Скорость впрыскивания, м^3/с	Угол поворота вала φ, °	Скорость впрыскивания, м^3/с	Угол поворота вала φ, °	Скорость впрыскивания, м^3/с
0	0	6,0	$8{,}6 \cdot 10^{-5}$	12,0	$8{,}8 \cdot 10^{-5}$
1,0	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	7,0	$8{,}5 \cdot 10^{-5}$	13,0	$8{,}2 \cdot 10^{-5}$
2,0	$5{,}6 \cdot 10^{-5}$	8,0	$8{,}4 \cdot 10^{-5}$	14,0	$6{,}4 \cdot 10^{-5}$
3,0	$7{,}6 \cdot 10^{-5}$	9,0	$9{,}5 \cdot 10^{-5}$	15,0	$4{,}4 \cdot 10^{-5}$
4,0	$8{,}0 \cdot 10^{-5}$	10,0	$9{,}4 \cdot 10^{-5}$	16,0	0
5,0	$8{,}4 \cdot 10^{-5}$	11,0	$9{,}2 \cdot 10^{-5}$		

наибольшее замещение ДТ альтернативным биотопливом, а с другой стороны, — надежное самовоспламенение и высокое качество сгорания смесевого биотоплива на всех эксплуатационных режимах работы дизеля, а также не приводит к закоксовыванию распылителей форсунок. Физико-химические свойства ДТ, РМ и указанного смесевого биотоплива, необходимые для проведения расчетных исследований с использованием программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК, приведены в табл. 4 [1].

При расчетах показателей дизеля Д-245.12С с использованием программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК исследовался номинальный режим (режим максимальной мощности) при частоте вращения n = 2400 мин$^{-1}$ с объемной цикловой подачей топлива $q_ц$ = 80 мм^3 или массовой подачей $g_ц$ = 67 мг (характеристики длины струй на этом режиме приведены на рис. 1). Выбор этого режима обусловлен тем, что он отличается наибольшей интенсивностью топливоподачи (наибольшими давлениями впрыскивания), наибольшей дальнобойностью струй (их наибольшей длиной). Причем, как следует из сопоставления данных рис. 1 и 3, во всех рассматриваемых КС длина струй превышает геометрические размеры камер сгорания, что неизбежно приведет к попаданию части топлива на стенки КС. Поэтому именно этот режим характеризуется наибольшим количеством топлива, попадающего на стенки КС, наибольшей долей пленочного смесеобразования и наибольшим влиянием формы КС на показатели исследуемого дизеля.

При расчетных исследованиях задавался закон подачи, формируемый кулачками ТНВД модели PP4M10Ulf на номинальном режиме работы дизеля Д-245.12С с частотой вращения коленчатого вала n = 2400 мин$^{-1}$ и цикловой подачей топлива $q_ц$ = 80 мм^3 (табл. 5). При этом было принято, что закон подачи, формируемый при работе на дизельном топливе, справедлив и для случая работы на указанном смесевом биотопливе (80 % ДТ и 20 % РМ).

На номинальном режиме работы дизеля Д-245.12С штатный УОВТ θ = 13° п. к. в. до ВМТ. Это установочный (статический) УОВТ, определяемый на выходе из штуцера ТНВД. В разделенных системах топливоподачи (в которых ТНВД и форсунки соединены длинными нагнетательными топливопроводами) действительный (динамический) УОВТ, соответствующий моменту начала подъема иглы форсунки, уменьшается по сравнению с установочным УОВТ. Это уменьшение УОВТ соответствует времени прохождения волны давления от ТНВД до форсунки со скоростью звука, которая для дизельного топлива равна 1300 м/с. При длине топливопровода L = 540 мм = 0,54 м эта задержка начала подачи топлива составляет $\Delta t = L/c$ = 0,54 м / 1300 м/с = = 0,000415 с, что при частоте вращения коленчатого вала двигателя n = 2400 мин$^{-1}$ соответствует Δθ = 6° поворота вала. По-

Таблица 6

Основные показатели дизеля Д-245.12 с различными КС, работающего на номинальном режиме на смеси 80 % ДТ и 20 % РМ

Параметры	Тип КС (тип дизеля, в котором использована данная КС)					
	Д-245.12С (рис. 2)	Д-21 (рис. 3, а)	СМД-14Н (рис. 3, в)	СМД-60 (рис. 3, г)	ЯМЗ-238 (рис. 3, д)	А-90ТК (рис. 3, и)
g_e, г/(кВт · ч)	229,0	264,9	253,1	260,0	259,1	263,3
η_e	0,335	0,328	0,343	0,334	0,335	0,329
K_x, % (Хартридж)	9,9	12,2	6,4	10,2	9,7	12,2
C_{NO_x}, ppm	665	956	820	655	674	594

этому принят динамический УОВТ на исследуемом режиме $\theta_{дин} = 7°$ поворота вала до ВМТ.

Некоторые результаты проведенных расчетных исследований даны в табл. 6. Следует отметить, что расчетные результаты по дизелю Д-245.12С с распылителями Motorpal и КС типа ЦНИДИ, представленные в табл. 6, хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований этого дизеля [26]. В частности, экспериментально полученный и расчетный удельные эффективные расходы топлива g_e на номинальном режиме при использовании смеси 80 % ДТ и 20 % РМ оказались равными соответственно 255,1 и 259,0 г/(кВт · ч). Экспериментально полученные и расчетные значения дымности ОГ и концентрации в ОГ оксидов азота оказались соответственно равны 8,0 и 9,9 % по шкале Хартриджа и 650 и 665 ppm (миллионная массовая доля оксидов азота в ОГ). Это подтверждает возможность использования программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК для исследования дизеля Д-245.12С с различными КС при его работе на смесевом биотопливе.

Анализ полученных экспериментальных данных (табл. 6) показывает, что наиболее благоприятное сочетание показателей топливной экономичности и токсичности исследуемого базового дизеля, работающего на смеси 80 % ДТ и 20 % РМ, обеспечивает КС дизеля СМД-14Н (рис. 3, в). Это камера типа ЦНИДИ, по форме такая же, как и в базовом дизеле Д-245.12С, но с большим диаметром и меньшей глубиной (см. табл. 2). Улучшение показателей базового двигателя с КС (см. рис. 3, в) по сравнению с камерой (см. рис. 2) обусловлено увеличением расстояния от распыливающих отверстий форсунки до стенок КС, уменьшением доли топлива, попадающего на стенки камеры в поршне, и увеличением доли объемного смесеобразования. При этом повышение эффективности рабочего процесса дизеля с КС (см. рис. 3, *в*), выражающееся в наибольшем эффективном КПД $\eta_e = 0{,}343$ (или 34,3 %), приводит к наименьшей среди рассматриваемых камер дымности ОГ ($K_x = 6{,}4$ %) и наибольшему содержанию в ОГ оксидов азота ($C_{NO_x} = 820$ ppm), эмиссия которых повышается с увеличением температуры сгорания.

Анализ данных табл. 6 и проведенный выше анализ показателей базового двигателя, снабженного КС одного типа (типа ЦНИДИ), но с различными размерами этой камеры, показывают, что форма КС и ее размеры примерно в равной степени влияют на рассматриваемые показатели топливной экономичности и токсичности ОГ. В частности, переход от камеры ЦНИДИ (см. рис. 2) к камере ЦНИДИ (см. рис. 3, в), но с другими размерами, сопровождается снижением удельного эффективного расхода топлива g_e на 5,9 г/(кВт · ч), а переход от упомянутой камеры ЦНИДИ (см. рис. 2) к полусферической КС (см. рис. 3, а), обеспечивающей наихудшие показатели топливной экономичности среди рассмотренных КС, приводит к увеличению расхода топлива g_e на те же 5,9 г/(кВт · ч), см. табл. 6.

Указанный характер влияния формы КС и ее размеров на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ отмечен и при расчетных исследованиях базового двигателя, работающего на чистом ДТ (см. табл. 7). Как и при использовании смесевого биотоплива при работе исследуемого дизеля на чистом ДТ наилучшее сочетание показателей обеспечивает КС дизеля СМД-14Н (рис. 3, в). Но следует отметить, что при использовании чистого ДТ указанное влияние КС на показатели дизеля Д-245.12С менее выражено. При расчетах отмечено некоторое улучшение эффек-

Таблица 7

Основные показатели дизеля Д-245.12 с различными КС, работающего на номинальном режиме на чистом ДТ

Параметры	Тип КС (тип дизеля, в котором использована данная КС)					
	Д-245.12С (рис. 2)	Д-21 (рис. 3, а)	СМД-14Н (рис. 3, в)	СМД-60 (рис. 3, г)	ЯМЗ-238 (рис. 3, д)	А-90ТК (рис. 3, и)
g_e, г/(кВт · ч)	247,4	252,4	244,3	248,0	247,8	251,3
η_e	0,342	0,336	0,348	0,342	0,342	0,337
K_x, % (Хартридж)	9,9	12,0	6,5	10,0	9,6	11,9
C_{NO_x}, ppm	888	827	915	870	908	825

тивности процесса сгорания ДТ по сравнению со смесевым биотопливом, выражающееся в небольшом повышении эффективного КПД двигателя (не превышающем 2,4 % по сравнению с работой на смеси 80 % ДТ и 20 % РМ). Следствием этого является и некоторый рост концентрации в ОГ оксидов азота NO_x. Все эти факторы обусловлены меньшей длиной струй распыливаемого дизельного топлива, уменьшением количества топлива, попадающего на стенки КС, и увеличением доли объемного смесеобразования.

В заключение следует отметить, что представленные результаты расчетных исследований не являются исчерпывающими. Для достижения наилучших показателей топливной экономичности и токсичности ОГ базового двигателя необходимо исследовать более широкий круг возможных форм КС и их геометрических размеров. Наверное, необходима и оптимизация состава смесевого биотоплива. Однако проведенные расчеты еще раз подтвердили заметное влияние формы и размеров КС на показатели исследуемого дизеля, работающего на смесевом биотопливе. Подтверждена также эффективность использования программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК при проведении указанных расчетных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Работа** дизелей на нетрадиционных топливах [Текст]: Учеб. пособие / В. А. Марков, А. И. Гайворонский, Л. В. Грехов и др. — М.: Изд-во "Легион-Автодата", 2008. — 464 с.
2. **Льотко, В.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / В. Льотко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2003. — 311 с.
3. **Марков, В. А.** Токсичность отработавших газов дизелей [Текст] / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 76 с.
4. **Девянин, С. Н.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей [Текст] / С. Н. Девянин, В. А. Марков, В. Г. Семенов. — М.: Изд. центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. — 340 с.
5. **Шкаликова, В. Н.** Применение нетрадиционных топлив в дизелях [Текст] / В. Н. Шкаликова, Н. Н. Патрахальцев. — М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1993. — 64 с.
6. **Вальехо, П.** Экспериментальное определение кинетических констант воспламенения растительных топлив в условиях ДВС [Текст] / П. Вальехо // Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования. — 2003. — № 1. — С. 29—31.
7. **Файнлейб, Б. Н.** Исследование оптимальных условий развития топливного факела в быстроходном дизеле при различных камерах сгорания [Текст] / Б. Н. Файнлейб, В. И. Бараев // Труды ЦНИТА. — 1973. — Вып. 56. — С. 11—17.
8. **Быков, В. И.** Экспериментальный метод оценки взаимодействия топлива со стенками камеры сгорания дизеля [Текст] / В. И. Быков, И. В. Парсаданов, А. П. Строков // Двигатели внутреннего сгорания: Сб. — Харьков: Вища школа, 1987. — Вып. 46. — С. 48—52.
9. **Семенов, В. Г.** Влияние формы камеры сгорания на характеристики тепловыделения тепловозных дизелей типа ЧН 25/27 [Текст] / В. Г. Семенов, А. И. Филипковский, В. Н. Калиновский // Двигатели внутреннего сгорания: Сб. — Харьков: Вища школа, 1980. — Вып. 31. — С. 20—24.
10. **Сукачев, И. В.** Исследования влияния формы камеры сгорания на рабочий процесс судового среднеоборотного дизеля 6ЧН26/34 [Текст] / И. И. Сукачев, Г. А. Кох, А. В. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания: Сб. — Харьков: Вища школа, 1980. — Вып. 31. — С. 24—30.

11. **Свиридов, Ю. Б.** Смесеобразование и сгорание в дизелях [Текст] / Ю. Б. Свиридов. — Л.: Машиностроение, 1972. — 223 с.
12. **Разлейцев, Н. Ф.** Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях [Текст] / Н. Ф. Разлейцев. — Харьков: Вища школа, 1980. — 169 с.
13. **Камфер, Г. М.** Анализ и подбор конструктивных элементов камеры сгорания при оптимальных условиях смесеобразования [Текст] / Г. М. Камфер // Двигателестроение. — 1986. — № 6. — С. 17—20.
14. **Камеры** сгорания с повышенной энергией смесеобразования [Текст] / С. Н. Девянин, В. А. Марков, А. В. Микитенко и др. // Автомобильная промышленность. — 2006. — № 1. — С. 11—15.
15. **Федотенко, Ф. С.** Показатели двигателя с воспламенением от сжатия при различных способах смесеобразования [Текст] / Ф. С. Федотченко, И. М. Личенков // Автомобильная промышленность. — 1958. — № 6. — С. 22—26.
16. **Копылов, М. Л.** О движении воздуха в камерах сгорания открытого типа, расположенных в поршне [Текст] / М. Л. Копылов // Двигатели внутреннего сгорания: Сб. — Харьков: Вища школа, 1970. — Вып. 11. — С. 31—34.
17. **Файнлейб, Б. Н.** Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Справочник [Текст] / Б. Н. Файнлейб. — Л.: Машиностроение, 1990. — 332 с.
18. **Семенов, Б. Н.** Рабочий процесс высокооборотных дизелей малой мощности [Текст] / Б. Н. Семенов, Е. П. Павлов, В. П. Копцев. — Л.: Машиностроение, 1990. — 240 с.
19. **Теория** двигателей внутреннего сгорания // Н. Х. Дьяченко, А. К. Костин, Б. П. Пугачев и др.; Под ред. Н. Х. Дьяченко. — Л.: Машиностроение, 1974. — 552 с.
20. **Марков, В. А.** Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях [Текст] / В. А. Марков, С. Н. Девянин, В. И. Мальчук. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 360 с.
21. **Кулешов А. С.** Расчетное формирование оптимальных законов управления дизелями на традиционных и альтернативных топливах [Текст] / А. С. Кулешов, Л. В. Грехов // Безопасность в техносфере. — 2007. — № 5. — С. 30—32.
22. **Кулешов, А. С.** Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 2. Расчет распределения топлива в струе [Текст] / А. С. Кулешов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Машиностроение. 2007. Спец. Вып. Двигатели внутреннего сгорания. — С. 18—31.
23. **Kuleshov, A. S.** Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. — 2005. — N 2005-01-2119. — P. 1—10.
24. **Kjuleshov, A. S.** Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model and its Application for Matching the Injector Design with Piston Bowl Shape // SAE Technical Paper Series. — 2007. — N 2007-01-1908. — P. 1—10.
25. **Грехов, Л. В.** Топливная аппаратура и системы управления дизелей [Текст] / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. — М.: Легион-Автодата, 2005. — 344 с.
26. **Девянин, С. Н.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей [Текст] / С. Н. Девянин, В. А. Марков, В. Г. Семенов. — Харьков: Новое слово, 2007. — 452 с.
27. **Гайворонский, А. И.** Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях [Текст] / А. И. Гайворонский, В. А. Марков, Ю. В. Илатовский. — М.: ИРЦ Газпром, 2007. — 480 с.

Вниманию читателей!

ООО "ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журналы на 1-е полугодие 2010 г.

Подпишитесь в Издательстве и Вы

- получите журналы с первого номера;
- сэкономите на стоимости почтовой доставки;
- узнаете о новых книгах и журналах Издательства.

Постоянным подписчикам предоставляется скидка на подписку и публикацию рекламных объявлений.

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией

в отдел продаж, маркетинга и рекламы

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4

Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98; факс (499)269-48-97

E-mail: realiz@mashin.ru; www.mashin.ru

УДК 629.113

А. П. Рудой,
Институт газа
НАН Украины,
В. А. Жовтянский,
С. Г. Микаелян,
НПФ "ЭЛНА"
(Киев, Украина)
E-mail: andrey
rudoy@mail.ru

Возможности восстановления ходовых и моторных частей электро- и автотранспорта

Рассмотрены возможные технологии восстановлений деталей с точки зрения как изготовления оборудования, так и используемых в процессе восстановления материалов. Разработаны рекомендации для восстановления изношенных деталей в зависимости от условий их эксплуатации. Рассмотрены возможные методы восстановления. Сделан анализ технических и экономических преимуществ любого из этих методов и выбора напыляемого материала. Изложены результаты анализа влияния режимов напыления на показатели покрытия и эксплуатационные результаты партии восстановленных деталей.

Ключевые слова: *напыление, электрическая дуга, восстановление, городской электро- и автотранспорт.*

В СНГ существует большое количество подвижного состава в троллейбусных и трамвайных депо, а также в автотранспортных предприятиях (АТП). Учитывая состояние указанного транспорта целесообразно восстанавливать некоторые детали его узлов и агрегатов, в частности, ходовых и моторных, которые работают в трудных условиях. На основе опубликованных данных и опыта предшествующих работ сделан анализ, который позволил выбрать наиболее экономичный метод восстановления деталей. Проведенные эксперименты по изучению влияния параметров напыления на показатели получаемого покрытия позволили сформулировать основные рекомендации по выбору технологий восстановления деталей в зависимости от условий их работы. В основу данной работы положена идея восстановления изношенных деталей, которая широко практикуется в мире и, в частности, в Германии, Чехии, Японии и Франции. Исследования показывают, что при восстановлении изношенных деталей экономится 70—80 % естественных ресурсов и 80—85 % энергетических ресурсов по сравнению с изготовлением новой аналогичной детали.

Сложная экономическая ситуация в Украине породила проблему приобретения запасных частей для поддержания рабочего состояния подвижного состава общественного электро- и автотранспорта. Особое значение она приобрела относительно импортного транспорта (например троллейбусов фирмы DAC и Scoda и трамваев фирмы Scoda, коленчатых валов автобусов Икарус). Поэтому объектом исследований стала разработка оборудования и технологии восстановления частей указанного транспорта, что позволило бы продлить срок их эксплуатации и, таким образом, сэкономить средства на приобретение новых.

Вначале была проведена маркетинговая работа относительно изучения деталей, которые используются в данных видах транспорта. Проведенный анализ общих условий эксплуатации деталей указанных типов транспорта позволил поделить их на принципиально отличающиеся группы: детали, поверхности которых являются посадочным местом для подшипников (например цапфы для поворота); детали, поверхности которых работают с резиновыми изделиями в условиях практически трения без смазочного ма-

териала (например фланцы главного редуктора заднего моста; коленчатые валы двигателей).

Наиболее традиционным и используемым методом восстановления изношенных поверхностей деталей в настоящее время является их наплавка с последующим шлифованием. Преимущество этого метода — низкая себестоимость восстановления деталей. Но в большинстве случаев его экономическая эффективность условная. Вследствие структурных изменений металла восстановленной детали прочность ее от усталости ухудшается в 3—4 раза по сравнению с новой деталью. Это означает повышенный риск поломки рассматриваемых частей и узлов, в которых такие детали работают при эксплуатации транспорта. Также приведенные причины структурного изменения детали не позволяют восстанавливать ее более чем 2 раза, после чего деталь нужно изъять из эксплуатации.

Наиболее эффективными методами восстановления данных деталей являются технологии газотермического напыления. Среди них наиболее часто промышленно применяемыми методами являются: плазменный, газопламенный и электродуговой. При использовании этих методов восстанавливать детали можно до 9—10 раз. Это возможно за счет щадящего термического влияния напыляемого материала на поверхность детали. Температура поверхности при таких методах напыления не превышает 80—100 °С (для сравнения при наплавке 500—700 °С).

Анализом технических и экономических преимуществ каждого из приведенных методов газотермического напыления установлено, что оптимальным является электродуговой метод напыления. Данный метод по сравнению с другими более простой и не требует высокой квалификации персонала. Экономические показатели электродугового напыления значительно выше, чем других методов (в 3 раза в сравнении с плазменным методом и в 4 раза с газопламенным). По качественным показателям распыления и формирования покрытия выбранный метод имеет значительные преимущества по сравнению с газопламенным методом. В сравнении с плазменным напылением традиционное электродуговое напыление имеет ряд недостатков. Прежде всего более широкий диапазон разброса образованных частиц по фракциям и, как следствие, более высокую пористость покрытия и меньшую прочность сцепления покрытия с поверхностью детали.

Для частичного устранения приведенных недостатков был использован конструктивно отличающийся от традиционного электродуговой распылитель. Основными отличиями этого распылителя является изменение конфигурации подачи электродных проволок по отношению к оси сопла, через которое подают распыляющий сжатый воздух, и использование двух автономных механизмов подачи проволоки. Благодаря указанным изменениям достигнуто увеличение монодисперсности распыленных частиц в 1,7—1,9 раза, повышение прочности сцепления покрытия с основой на 30 % и снижение пористости на 40 %. Удельные энергетические потери для напыления 1 кг материала на 24 % меньше, чем при использовании существующих промышленных электродуговых распылителей.

Ввиду того, что при электродуговом методе напыления могут быть использованы только проволочные электропроводные материалы, был проведен их анализ. Проволоку, которую используют для электродугового напыления, условно можно разделить на два типа: сплошную и порошковую. Существуют определенные различия в механизме и технологии напыления сплошными и порошковыми проволоками, которые обусловлены особенностями их структурного строения. На основе исследований выбраны следующие марки проволок: НП-65Г диаметром 1,6 и 2,0 мм (сплошная); ПП-ММ-2 диаметром 2,4 мм (порошковая); ПП-АН-301 диаметром 2,0 мм (порошковая); ПП-АН-122 диаметром 2,0 мм (порошковая); ПП-АМ-155 М диаметром 1,6 мм (порошковая); ПП-АМ-155 М диаметром 2,0 мм (порошковая). По результатам стендовых испытаний по напылению указанных проволок и анализа экономической целесообразности их применения для реставрации ходовых частей транспорта выбрана проволока ПП-АН-155 М (разработка фирмы "ЭЛНА").

На начальном этапе исследования проводили на образцах. Целью исследования было определение прочности сцепления покрытия с основой, которая влияет на долговечность работы восстановленной детали. Прочность сцепления определяли штифтовым методом, напыляя на

обойму покрытие толщиной 2 мм (наиболее часто используемое при восстановлении изношенных деталей). Такую же толщину выдерживали при напылении на образцы размерами 50 × 30 × 3 мм, которые применяли для определения пористости покрытия гидростатическим методом. Для определения фракционного состава частиц проводили распыление в воду. После этого полученный порошок высушивали и просеивали через сита в соответствии с ГОСТ 18318—94.

Варьируемыми параметрами напыления были выбраны сила тока дуги и ее напряжение. Выбор осуществляли исходя из приоритетности их влияния на показатели покрытия (монодисперстность частиц в покрытии, пористость покрытия и прочность его сцепления с напыляемой поверхностью).

Анализ покрытия напыленных образцов по упомянутым показателям и степени диспергирования частиц, полученной при распылении проволок в воду, позволил сделать следующие выводы:

1. Оптимальное напряжение дуги при напылении порошковой проволокой ПП-ММ-2 составляет 36—38 В. Выход за нижнюю границу недопустим из-за возникновения нестабильности процесса напыления. Выход за верхнюю границу нежелателен, так как в этом случае повышаются пористость и зернистость покрытия и, как следствие, снижается когезионная прочность сцепления частиц в покрытии.

2. Силу тока дуги следует выбирать в диапазоне 150—200 А. Нижняя граница обусловлена увеличением диаметра и диапазона разброса распыленных частиц и снижением удельной производительности напыления. Превышение верхнего значения указанного диапазона приводит к недопустимой степени окисления покрытия, которое можно визуально определить по изменению его цвета. Следствием выхода за пределы указанного диапазона является низкая адгезионная и когезионная прочность сцепления.

При указанных режимах напыления образцов были определены главные показатели процесса. Прочность сцепления покрытия с поверхностью образца (по десяти экспериментам) на 25 % больше, чем этот показатель при традиционном электродуговом напылении. Пористость покрытия составляет 7—9 %, что на 18—22 % меньше, чем в сравниваемом случае.

После исследований на образцах было проведено экспериментальное напыление на детали, которые работают в условиях полной эксплуатации.

(По материалам 11-й Международной научно-практической конференции 14—17 апреля 2009 г.)

НОВОСТИ

"Тракторные заводы" приступили к выпуску дизеля с европейским качеством

Торговая компания машиностроительного холдинга "Концерн "Тракторные заводы" ООО "ЧЕТРА — Комплектующие и запасные части" представила на рынок дизели, собранные на основе блок-картеров, изготовленных из отливок немецкого предприятия Luitpoldhütte.

В 2008 г. немецкий завод Luitpoldhütte AG вошел в состав "Концерна "Тракторные заводы" и стал очередным зарубежным активом холдинга, позволяющим машиностроительной группе получить доступ к европейским высоким технологиям. Выпускаемые на Luitpoldhütte AG литые детали поставляются на конвейеры крупнейших мировых производителей: Caterpillar, Liebherr, Iveco, Cummins, Scania и др.

Передовая технология литейного производства обеспечивает высокое качество и точность литья, что при производстве отливки блок-картеров позволяет экономить до 10 % металла, повышает прочность блока и обеспечивает возможность дальнейшего форсирования дизеля по среднему эффективному давлению при одновременном увеличении его моторесурса.

В январе 2010 г. на базе блок-картеров из отливок Luitpoldhütte в ОАО "ПО "Алтайский моторный завод" были изготовлены первые опытные образцы 4- и 6-цилиндровых дизелей. С середины 2010 г. планируется изготовление ряда модификаций дизелей "АМЗ" на базе немецких блок-картеров Luitpoldhütte, в том числе дизеля А-41СИ-01. В течение I квартала 2010 г. конвейер Волгоградского тракторного завода полностью перейдет на комплектование тракторов "Агромаш-90ТГ" дизелями А-41СИ-01.

(По материалам "Концерна "Тракторые заводы")

УДК
69.002.5+625.08

А. Н. Максименко,
канд. техн. наук
профессор,
В. В. Кутузов,
магистр техн.
наук, асп.,
Белорусско-
Российский ун-т
(г. Минск);
А. Н Сидоров,
нач. гл. упр.
эконом.
Министерства
архитектуры
и строительства
Республики
Беларусь
E-mail:
maksimenko-bru@
yandex.ru

Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ

Рассмотрено влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на производительность и себестоимость механизированных работ погрузчиков грузоподъемностью 3 т. Приведены исследования по установлению математической зависимости изменения годовой производительности в зависимости от коэффициента технического использования и внутрисменного режима работы.

Ключевые слова: *эксплуатация, производительность, себестоимость.*

Введение

Важнейшими показателями эффективной работы машины является ее эксплуатационная производительность и себестоимость механизированных работ [1—3].

В процессе увеличения наработки с начала эксплуатации значительно изменяются часовая эксплуатационная производительность машин через внутрисменный режим работы и соответственно годовая через количество рабочего времени.

Часовая эксплуатационная производительность зависит от технической производительности и коэффициента внутрисменной работы. Величина данного коэффициента для расчетов в настоящее время принимается в пределах 0,75—0,85, в то время как фактические значения находятся в пределах от 0,3 до 0,85.

Анализ работы строительных и дорожных машин (СДМ) показал, что фактические значения эксплуатационной производительности изменяются до 70 % за счет внутрисменного режима их использования, а годовой эксплуатационной производительности дополнительно снижаются до 50 % за счет снижения годового количества рабочего времени. Эти изменения важно учитывать при планировании и организации использования СДМ.

Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации СДМ на их внутрисменный режим и количество рабочего времени

Внутрисменный режим работы СДМ оценивается коэффициентом использования по времени ($K_в$), и динамику его изменения целесообразно учитывать при планировании и организации эксплуатации конкретной машины. Определять его можно путем проведения хронометража техники, однако это длительный и сложный процесс, выполнение которого является трудоемким особенно для большого парка машин. Для целей планирования с достаточной точностью можно использовать коэффициент перехода от количества рабочего времени к наработке в моточасах ($K_п$), значения которого соответствуют делению коэффициента внутрисменного режима использования на коэффициент, учитывающий работу СДМ на холостом ходу. Исследования [4] показывают различие значений $K_в$ от $K_п$ в пределах 0—15 %, что позволяет значительно точнее определять эксплуатационную производительность, а при исключении работы двигателя на холостых оборотах

ошибку можно полностью устранить. Определять коэффициент $K_п$ можно на основании показаний счетчиков моточасов и карточек учета использования машин, которые ведутся в каждой организации в соответствии с ГОСТ 25646—95. Значения $K_п$ зависят от наработки с начала эксплуатации машины и сезона ее применения. Средние значения коэффициента $K_п$ приведены в нормативной документации [5—7] и в основном используется для планирования годовой наработки и списания топлива.

Для оценки влияния сезона эксплуатации и старения техники на коэффициент внутрисменного режима ее работы был проведен хронометраж в течение года и обработана информация учета эксплуатации подконтрольных машин более чем за 10 лет.

Хронометраж работы СДМ в течение года показал, что коэффициент $K_п$ для погрузчика Амкодор 332 изменяется от 0,61 до 0,85. Меньшее значение соответствует зимнему сезону его эксплуатации из-за увеличения технологических перерывов и простоев по организационным причинам [4].

С увеличением наработки с начала эксплуатации СДМ происходит снижение коэффициента $K_п$ из-за увеличения перерывов на ежесменное техническое обслуживание и сопутствующих ему ремонтов, а также перерывов по конструктивно-техническим и организационным причинам. За рассматриваемый период с наработкой до капитального ремонта по результатам обработки карточек учета использования погрузчиков коэффициент $K_п$ изменялся от 0,8 до 0,6. Собранная статистическая информация обрабатывалась по рекомендациям, приведенным в литературе [8].

Изменение коэффициента $K_п$ в зависимости от наработки с начала эксплуатации приближается к линейной форме и с достаточной точностью (коэффициент

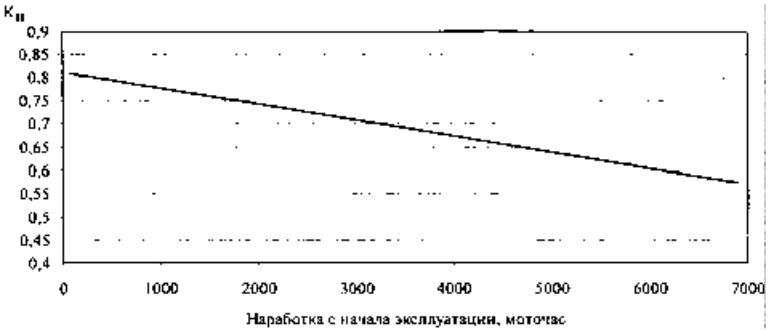

Рис. 1. Влияние наработки с начала эксплуатации на коэффициент внутрисменного использования для погрузчика грузоподъемностью 3 т

квадрата корреляции равен 0,957) описывается уравнением:

$$K_п = 0{,}81 - 35 \cdot 10^{-6} H_ф, \qquad (1)$$

где $H_ф$ — наработка с начала эксплуатации, моточас.

Интенсивность снижения коэффициента $K_п$ в зависимости от наработки с начала эксплуатации представлена на рис. 1.

При планировании и организации производства работ для определения фактической производительности важно также учитывать сезон эксплуатации СДМ и их наработку с начала эксплуатации [9]. Динамика изменений $K_п$ от двух факторов для рассматриваемого класса погрузчиков изображена на рис. 2.

Основу информации по работе погрузчиков составили значения по результатам хронометража и карточкам учета работы СДМ. Численный расчет проводился с учетом профессионального пакета для статистической обработки данных "Statistica".

Коэффициент $K_п$ определялся по формуле:

$$K_п = t_{мот}/t_{маш}, \qquad (2)$$

где $t_{мот}$ — время работы машины, определяемое по счетчику моточасов, моточас; $t_{маш}$ — время за рассматриваемый период, машиночас.

Процесс старения техники оказывает влияние и на годовое количество рабочего времени из-за увеличения простоев

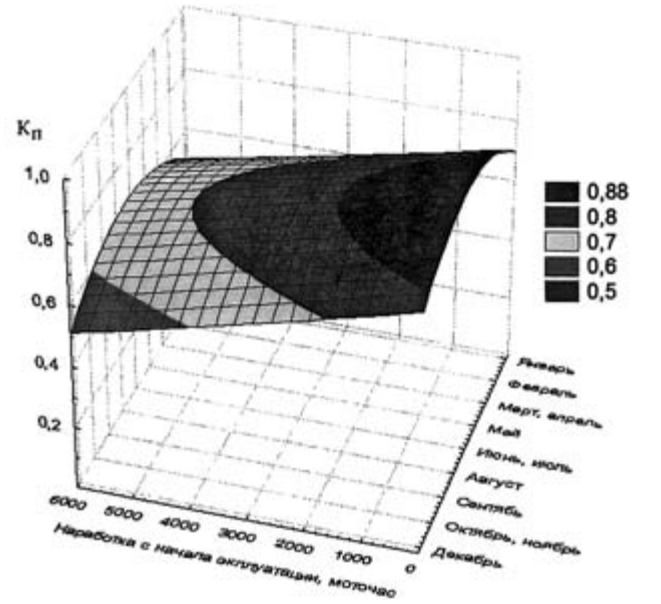

Рис. 2. Влияние наработки с начала эксплуатации и сезона эксплуатации погрузчиков грузоподъемностью 3 т на коэффициент внутрисменного режима работы

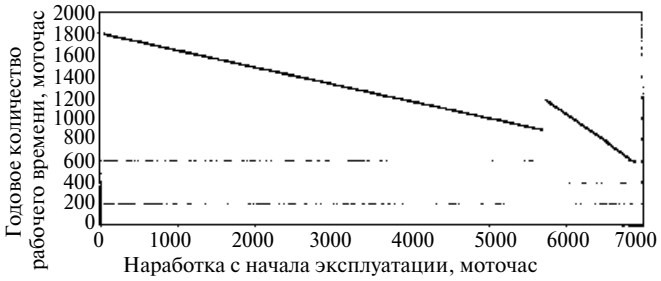

Рис. 3. Влияние наработки с начала эксплуатации погрузчика грузоподъемностью 3 т на его количество рабочего времени в году

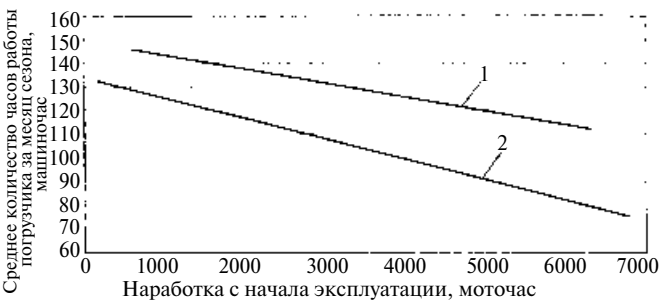

Рис. 4. Влияние наработки с начала эксплуатации на количество часов работы погрузчика грузоподъемностью 3 т в зимний и летний периоды времени:

1 — летний сезон, 2 — зимний сезон

в технических обслуживаниях и ремонтах [10], что приводит к значительному снижению годовой эксплуатационной производительности. Для рассматриваемого класса погрузчиков производства "Амкодор" фактическое годовое количество рабочего времени в машиночасах изменялось от 1700 в интервале наработки 0—1500 моточас до 820 перед наработкой 6000 моточас, соответствующей капитальному ремонту, т. е. произошло его снижение на 52 %. Обработка экспериментальных данных позволила установить зависимость годового количества рабочего времени от наработки с начала эксплуатации (рис. 3). Причем рабочее время в зимний период эксплуатации погрузчика с увеличением наработки снижается более интенсивно (рис. 4). Так, рабочее время за месяц в зимний период первого года эксплуатации при наработке до 1000 моточас составило 130 машиночас и соответственно в год при наработке перед капитальным ремонтом 85 машиночас, т. е. снизилось на 35 %. Это объясняется более сложными процессами поддержания работоспособности машин в зимний период эксплуатации с увеличением их наработки с начала эксплуатации.

Влияние коэффициента внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации погрузчиков на годовую производительность и себестоимость механизированных работ

Эффективность использования СДМ определяется объемами выполненных работ и затратами на поддержание и восстановление их работоспособности.

Максимально возможная производительность СДМ при непрерывной работе (техническая производительность $П_т$) учитывает конструктивные свойства машин, а также условия производства работ, разрыхление или уплотнение материала, степень использования рабочего оборудования.

Техническая производительность в процессе старения машины изменяется в пределах 5—10 % из-за снижения мощности двигателя и скоростных параметров, а эксплуатационная производительность — более 25 %, т. е. интенсивность снижения технической производительности в 2,5—5 раз ниже эксплуатационной за рассматриваемый интервал времени.

Для анализа влияния наработки с начала эксплуатации СДМ ($H_ф$) на эксплуатационную про-

изводительность погрузчиков значение $П_т$ в этом интервале времени принята постоянной, равной по результатам хронометража 51,3 м^3/ч для средних условий.

В этом случае часовая эксплуатационная производительность определяется по формуле:

$$П_э = П_т K_п, \qquad (3)$$

где $K_п$ — коэффициент внутрисменного режима работы.

Для анализа динамики изменения параметров $П_э$ от наработки $H_ф$ значение коэффициента $K_п$ получены на основе анализа эксплуатации подконтрольных погрузчиков (см. таблицу).

С увеличением наработки с начала эксплуатации эксплуатационные затраты для отдельных машин парка возрастают до 50 % [11] по сравнению с аналогичными затратами в первый год эксплуатации при снижении годовой эксплуатационной производительности. Для рассматриваемых погрузчиков эксплуатационные затраты возросли на 21 %, а часовая эксплуатационная производительность снизилась до 30 % при наработке 6000 моточас по сравнению с наработкой 1000 моточас (см. таблицу). Динамика изменения часовой эксплуатационной производительности от наработки с начала эксплуатации и сезона эксплуатации погрузчика приведена на рис. 5.

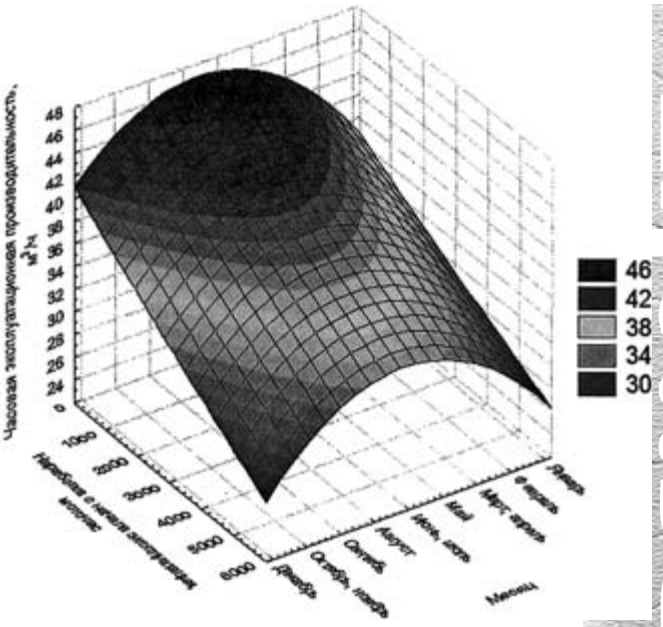

Рис. 5. Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на часовую эксплуатационную производительность погрузчиков грузоподъемностью 3 т

Таблица

Влияние наработки с начала эксплуатации погрузчиков на их эксплуатационную производительность и себестоимость механизированных работ

Технико-экономические показатели	Год эксплуатации							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Среднее значение коэффициента внутрисменного режима работы за год	0,80	0,76	0,71	0,68	0,65	0,60	0,64	0,58
Средняя часовая эксплуатационная производительность, м^3/ч	41,1	39	36,4	34,9	33,4	30,8	32,8	29,8
Наработка за год, моточас	1309	1186	917	826	779	492	703	432
Наработка с начала эксплуатации на начало года, моточас	380	1689	2875	3792	4618	5397	5889	6592
Годовое количество рабочего времени ($T_ч$), машиночас	1700	1581	1293	1213	1199	819	1098	744
Годовая эксплуатационная производительность, м^3/ч	69 870	61 659	47 065,2	42 333,7	40 046,6	25 225	36 014	22 171
Себестоимость механизированных работ, руб./м^3	8,976	9,459	10,135	10,571	11,045	11,978	11,247	12,38

Примечания: 1. Погрузчик ТО-18Б поступил в эксплуатацию и отработал 380 моточас в 2000 г.
2. Капитальный ремонт погрузчика выполнен в 2006 г.

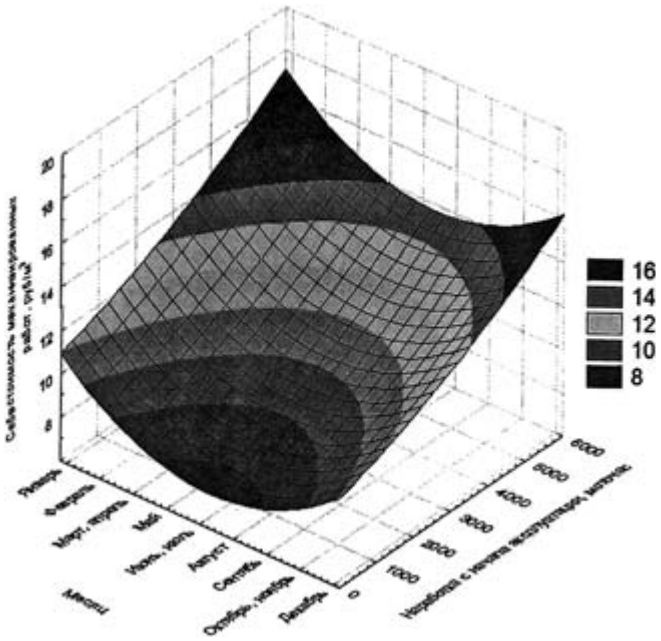

Рис. 6. Зависимость себестоимости механизированных работ для погрузчиков грузоподъемностью 3 т от сезона и наработки с начала эксплуатации

За рассматриваемый период времени годовое количество рабочего времени с учетом односменной работы снизилось на 52 %, что в совокупности привело к значительному понижению годовой эксплуатационной производительности (см. таблицу).

Снижение часовой эксплуатационной производительности приводит к изменению себестоимости механизированных работ (рис. 6) от 8 до 17,5 руб./м^3, т. е. увеличивается более чем в два раза.

Такие изменения технико-экономических показателей необходимо учитывать при планировании и организации производства строительных работ.

По совокупности рассматриваемых факторов (сезона и наработки с начала эксплуатации СДМ) годовая эксплуатационная производительность может изменяться более чем в три раза. Для исключения таких погрешностей планирования объемов выполняемых работ годовую эксплуатационную производительность СДМ целесообразно определять по формуле:

$$П_г = П_т(Д_к - Д_п)t_{см}K_{см}K_{ти}K_п, \qquad (4)$$

где $П_т$ — техническая производительность, ед. вып. работы/ч; $Д_к$ — количество календарных дней в году, число суток; $Д_п$ — количество всех простоев и перерывов работы в году, за исключением простоев, связанных с техническими обслуживаниями и ремонтами СДМ, число суток; $t_{см}$ — продолжительность смены, ч; $K_{см}$ — коэффициент сменности; $K_{ти}$ — комплексный показатель надежности, коэффициент технического использования.

Применение зависимости (4) для планирования позволит определять годовую эксплуатационную производительность СДМ с учетом их наработки с начала эксплуатации через коэффициент $K_{ти}$, суточный режим через коэффициент $K_{см}$ и внутрисменный режим работы через коэффициент $K_п$.

В процессе наработки машины с начала эксплуатации не только значительно снижается годовая эксплуатационная производительность, но и увеличиваются затраты на поддержание и восстановление работоспособности машины. Для погрузчиков грузоподъемностью 3 т за рассматриваемый интервал времени рост этих затрат можно учитывать поправочным коэффициентом, который будет зависеть от показателей надежности и условий эксплуатации. По данным использования машин в средней климатической зоне при строительстве автомобильных дорог изменение себестоимости 1 машиночас от наработки с

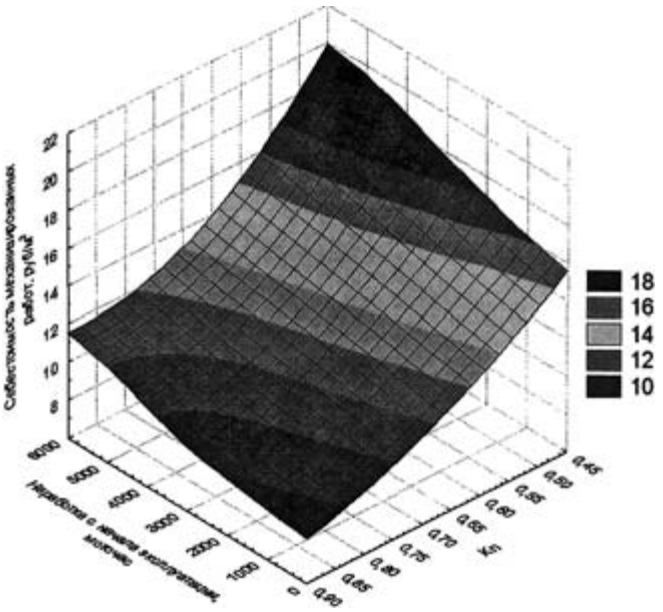

Рис. 7. Зависимость изменения себестоимости механизированных работ для погрузчиков грузоподъемностью 3 т от коэффициента внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации

начала эксплуатации можно выразить формулой:

$$C_{мч} = C_{мч1} + KH_{ф}, \qquad (5)$$

где $C_{мч1}$ — себестоимость 1 машиночаса при наработке до 1 тыс. машиночасов; K — поправочный коэффициент (в рассматриваемом случае $K = 16 \cdot 10^{-4}$).

С учетом динамики изменения эксплуатационных затрат на поддержание и восстановление работоспособности и годового количества рабочего времени рассматриваемых погрузчиков себестоимость механизированных работ изменялась от 8,5 до 20 руб./м^3 (рис. 7), что соответствует ее увеличению более чем в два раза.

Заключение

1. Часовая эксплуатационная производительность и себестоимость механизированных работ с учетом сезона эксплуатации и наработки с начала эксплуатации СДМ (на примере одноковшового погрузчика грузоподъемностью 3 т) могут изменяться более чем в два раза, что необходимо учитывать при определении технико-экономических показателей.

2. При планировании и организации использования СДМ годовую эксплуатационную производительность и себестоимость 1 машиночас эксплуатации СДМ целесообразно соответственно определять по формулам (4) и (5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кудрявцев, Е. М.** Комплексная механизация строительства [Текст] / Е. М. Кудрявцев. — М.: Ассоциации строительных вузов, 2005. — 424 с.
2. **Эксплуатация** подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой и др.; под ред. Е. С. Локшина. — М.: Академия, 2007. — 512 с.
3. **Максименко, А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пос. [Текст] / А. Н. Максименко. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
4. **Максименко, А. Н.** Влияние внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации на эффективность использования строительных и дорожных машин [Текст] / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Ю. Б. Барковский, С. Е. Кравченко, Г. С. Тимофеев // Строительная наука и техника. — 2009. — № 1 (22). — С. 102—106.
5. **Дорожно-методический** документ "Рекомендации по совершенствованию технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе с начала использования" ДМД 02191.7.008—2009 − Минск: БелдорНИИ, 2009. — 90 с.
6. **Механизация** строительства. Годовые режимы работы строительных машин. МДС 12-13.2003 / ЦНИИОМТП. — М.: ГУП ЦПП, 2003. — 16 с.
7. **Сборник** норм расхода топлива и смазочных материалов для механических транспортных средств, автотракторной техники, судов, машин, механизмов и оборудования в Республике Беларусь. — Минск: БелНИИТ "Транстехника", 2008.
8. **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пос. для вузов [Текст] / В. Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2003. — 479 с.
9. **Максименко, А. Н.** Определение выходных параметров сезонной техники в дорожном строительстве / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, С. Е. Кравченко // Грузовик &. — 2008. — № 3. — С. 26—31.
10. **Максименко, А. Н.** Влияние качества изготовления и технической эксплуатации на работоспособность строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Федосов, В. В. Кляусов // Строительная наука и техника. — 2009. — № 3 (24). — С. 68—73.
11. **Максименко, А. Н.** Влияние наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин [Текст] / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, С. Е. Кравченко, А. И. Лопатин, Г. С. Тимофеев // Грузовик &. — 2007. — № 2. — С. 32—36.

УДК 629.083

В. П. Засуха,
техн. дир.
ООО "Инженерно-внедренческий центр ИнТехСервис",
Н. М. Воротилова,
ст. препод.,
Р. Ф. Калимуллин;
Оренбур. гос. ун-т,
(г. Оренбург),
E-mail:
rkalimullin@mail.ru

Экспертная оценка эффективности действия ремонтно-восстановительных препаратов для автомобилей

Приведены этапы разработки и апробации методики оценки эффективности действия ремонтно-восстановительных препаратов для автомобилей с использованием метода нечеткой логики. Проведена оценка эффективности действия одного из препаратов для двигателя и агрегатов трансмиссии. Установлены закономерности изменения оценочного показателя от пробега автомобиля. Методика применима для оценки качества технологий и услуг безразборного сервиса автомобилей.

Ключевые слова: *безразборный сервис, защитно-восстановительные препараты, изменение качества работы агрегата, субъективная оценка, нечеткая логика.*

В последнее десятилетие благодаря работам отечественных и зарубежных ученых и практиков возникло и успешно развивается научно-техническое направление — безразборный технический сервис машин и механизмов, под которым подразумевается комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение ряда операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций [1, 2]. Безразборный сервис на основе профессионального применения специальных высокотехнологичных препаратов автохимии является наиболее прогрессивной методикой сервиса и ремонта в условиях действующей государственной программы по энергоресурсосбережению. Такой подход к решению проблемы поддержания в работоспособном состоянии узлов и агрегатов актуален практически для всей отечественной и импортной (а особенно подержанной) техники в связи с определенным дефицитом качественных топливно-смазочных материалов и запасных частей.

Одним из ответственных этапов в безразборном сервисе является оценка эффективности действия препаратов. Достоверная оценка позволяет принимать обоснованные решения при анализе качества услуг безразборного сервиса. Разработка метода оценки эффективности ремонтно-восстановительных препаратов позволит создать конкуренцию на рынке подобных препаратов, отдавая для обработки агрегата предпочтение наиболее конкурентоспособному препарату.

Ниже представлены основные этапы разработки и экспериментальной апробации методики экспертной оценки эффективности применения ремонтно-восстановительных препаратов в двигателях и агрегатах трансмиссии автомобилей.

На первом этапе исследований проведено анкетирование для определения степени важности показателей качества двигателя и трансмиссии после применения препарата. Были опрошены 364 респондента. В общее количество опрошенных входили люди с различным стажем вождения, опытом эксплуатации автомобилей, уровнем профессиональных знаний и практического опыта.

Предлагалось оценить степень важности изменения каждого из 12 для двигателя и 9 для трансмиссии показателей, составляющих качество работы агрегата, после применения препарата, в соответствии с которой нужно было назначить оценку каждому показателю от 0 до 16, где 0 — совсем не важно, 16 — очень важно. Оценка для каждой последующей категории важности в 2 раза больше предыду-

щей. Номенклатура показателей является исчерпывающей и определена исходя из анализа эффективности различных препаратов.

Показатели для двигателя:

№ 1 — уменьшение количества и длительности попыток пуска при низких температурах;

№ 2 — уменьшение вибрации и уровня шума при работе двигателя на разных режимах;

№ 3 — снижение расхода топлива (на 5—15 %) при сохранении мощности;

№ 4 — повышение мощности (на 5—15 %) при сохранении расхода топлива;

№ 5 — снижение токсичности и дымности выпускных газов (на 15—30 %);

№ 6 — снижение суммарного расхода моторного масла из-за угара, утечек через манжеты (50—100 %);

№ 7 — улучшение очистки двигателя от шлаков, нагара, лакообразований;

№ 8 — снижение вероятности перегрева в жаркий период;

№ 9 — увеличение моторесурса на 20—40 %;

№ 10 — увеличение срока службы моторного масла на 25—50 %;

№ 11 — повышение компрессии на 5—30 % ;

№ 12 — повышение стойкости узлов трения двигателя к продолжительной работе в экстремальных условиях.

Показатели для трансмиссии:

№ 1 — уменьшение вибрации и уровня шума агрегатов трансмиссии при движении автомобиля;

№ 2 — снижение расхода топлива (на 5—15 %) при сохранении мощности;

№ 3 — повышение мощности (на 5—15 %) при сохранении расхода топлива;

№ 4 — улучшение движения автомобиля;

№ 5 — уменьшение сопротивления в начале движения при низких температурах;

№ 6 — облегчение переключения передач;

№ 7 — увеличение ресурса агрегатов трансмиссии на 25—50 %;

№ 8 — увеличение срока службы масла на 25—50 %;

№ 9 — повышение стойкости узлов трения к продолжительной работе в экстремальных условиях.

Анализ результатов опроса показал, что мнения респондентов сильно отличаются вплоть до высказывания прямо противоположных оценок, распределение ответов носит полимодальный характер, что не позволяет однозначно определиться с обобщением оценки. Тем не менее, необходимо на основе этих данных численно оценить важность каждого из показателей.

Эта задача решена по методике с использованием теории нечетких множеств [3]. Каждому показателю качества определен вес важности $\alpha_j \in [0; 1]$ ($j = \overline{1, m}$), так что $\sum_{j=1}^{m} \alpha_j = 1$, где m — количество показателей. Полученное распределение весов важности показателей качества работы двигателя и трансмиссии представлено на рис. 1.

Наиболее важным среди исследуемых показателей качества работы двигателя, согласно опросу респондентов, является показатель (увеличение моторесурса на 20—40 %), затем — показатели № 2 и № 7 (уменьшение вибрации и уровня шума при работе двигателя на разных режимах; улучшение очистки двигателя от шлаков, нагара, лакообразований), показатель № 3 (снижение расхода топлива на 5—15 % при сохранении мощности), а наименее важными — показатели № 8 и 10 (снижение вероятности перегрева в жаркий период; увеличение срока службы масла на 25—50 %).

Для трансмиссии наиболее важным среди показателей качества является показатель № 7 (увеличение моторесурса на 25—50 %), затем — показатель № 2 (снижение расхода топлива на 5—15 % при сохранении мощности), а наименее важным — показатель № 8 (увеличение срока службы масла на 25—50 %).

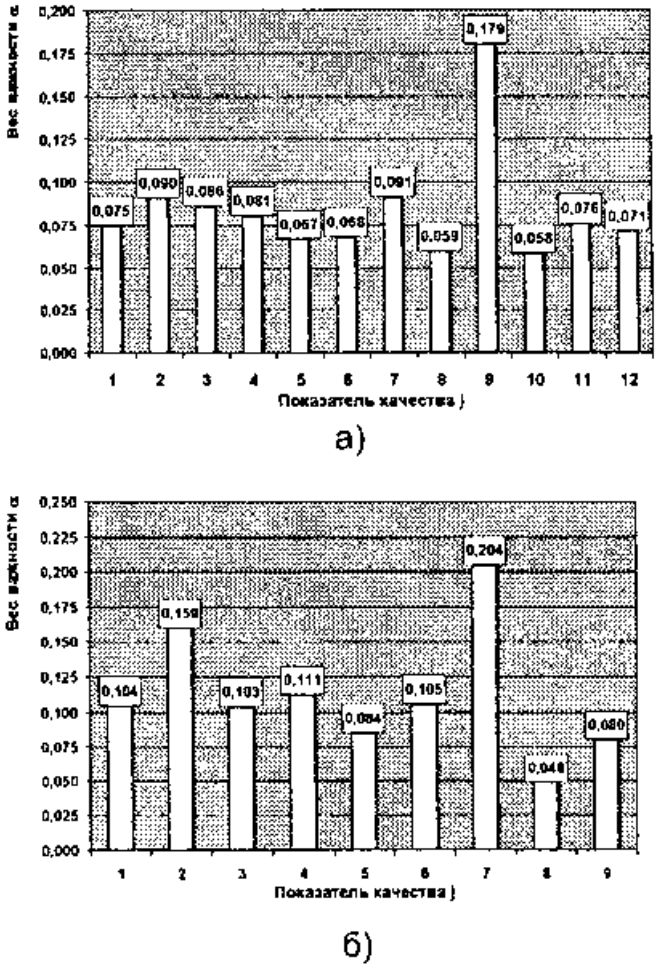

Рис. 1. Распределение весов важности показателей качества работы:

а — двигателя; б — трансмиссии

Полученный характер распределения весов важности показателей качества работы примерно одинаков для двигателя и трансмиссии.

Полученные численные оценки важности показателей качества имеют высокую практическую ценность и позволяют принимать обоснованные решения при анализе качества услуг безразборного сервиса.

Все исследуемые показатели качества можно определить экспериментально, используя соответствующие методики измерения. Однако подобные исследования трудоемки. Среди представленных показателей имеются такие, которые могут быть определены водителем субъективно за определенный пробег автомобиля. Ценность подобной оценки зависит от многих факторов, таких как наблюдательность, развитие слуховой и зрительной памяти, аккуратность и т. п.

Выделим те показатели, которые поддаются субъективной оценке. Для анализа важности субъективных показателей качества работы двигателей это показатели с номерами № 1—9, суммарный вес важности которых составляет 0,616, а для агрегатов трансмиссии — показатели № 1—6 с суммарным весом важности 0,667.

Результаты расчета весов важности для восьми показателей качества для двигателя и шести показателей для трансмиссии представлены на рис. 2.

Наиболее важным из субъективных показателей качества работы двигателя является показатель № 3 (снижение расхода топлива на 5—15 % при сохранении мощности), затем показатель № 4 (уменьшение вибрации и уровня шума при работе двигателя), наименее важными — показатели № 1 и 8 (уменьшение количества и длительности попыток пуска при низких температурах; снижение вероятности перегрева в жаркий период).

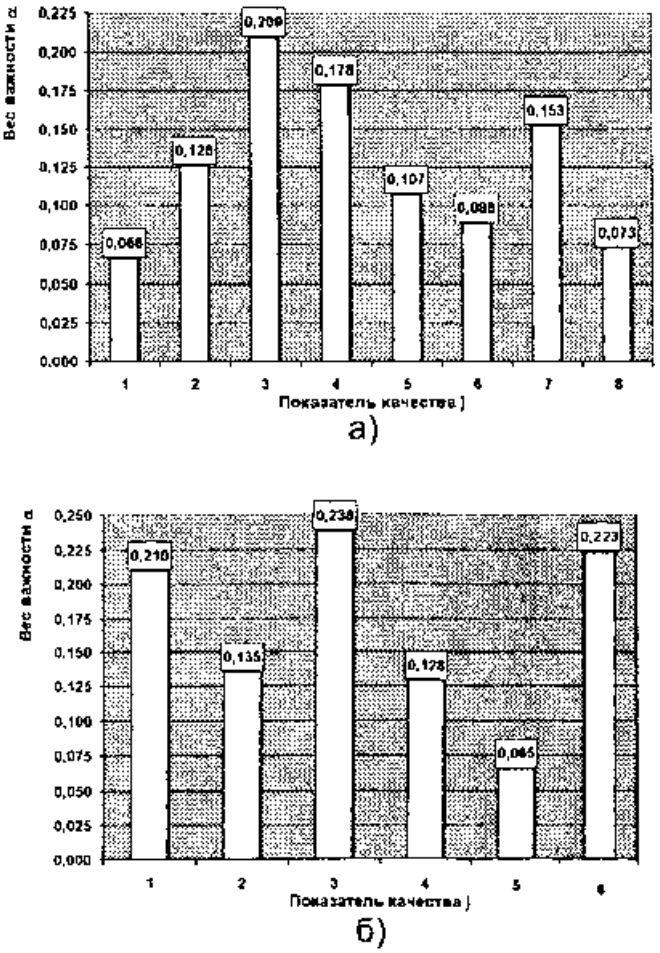

Рис. 2. Распределение весов важности субъективных показателей качества работы:

а — двигателя; б — трансмиссии

Для трансмиссии наиболее важным из субъективных показателей является показатель № 3 (повышение мощности на 5—15 % при сохранении расхода топлива), затем показатель № 6 (облегчение переключения передач), наименее важными — показатель № 5 (уменьшение сопротивления в начале движения).

С использованием весов важности субъективных показателей качества работы двигателя и трансмиссии разработана и апробирована методика оценки эффективности действия ремонтно-восстановительного препарата.

Проведено анкетирование 14 пользователей защитно-восстановительным препаратом (ЗВК) "Реагент-2000 для двигателей" и 9 пользователей препаратом ЗВК "Реагент-2000 для механической трансмиссии". Респондентам предлагалось ответить на вопрос о характере изменения показателей качества автомобиля после обработки агрегата автомобиля защитно-восстановительным комплексом "Реагент-2000" и распределить ответы на три варианта "изменение произошло в лучшую сторону", "изменения не произошло" и "изменение произошло в худшую сторону".

Оценен рейтинг Re эффективности действия препарата. Для этого каждому изменению i-го показателя качества присвоен вес важности α_i согласно данным рис. 2. В случае изменения i-го показателя в положительную сторону к значению рейтинга прибавляется вес данного показателя ($+\alpha_i$); в случае изменения показателя в отрицательную сторону, от значения рейтинга вычитается вес данного показателя ($-\alpha_i$); в случае, когда заметного изменения не произошло, рейтинг не изменяется ($\alpha_i = 0$).

Таким образом, итоговое значение рейтинга определяется по формуле:

$$\mathrm{Re} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i,$$

где m — количество показателей.

По полученным данным построены зависимости рейтинга эффективности препарата для двигателя и трансмиссии от пробега автомобилей, представленные на рис. 3.

Анализ полученных результатов свидетельствует о достаточно высокой эффективности препарата ЗВК "Реагент-2000 для двигателей" и "Реагент-2000 для механической трансмиссии". Так, рейтинг эффективности $\mathrm{Re}_{дв}$ составил от 0,472 до 0,890 (ее среднее значение 0,688), $\mathrm{Re}_{тр}$ составил от 0,661 до 1 (среднее значение 0,845).

Проведен расчет процентного соотношения мнений респондентов по оценке

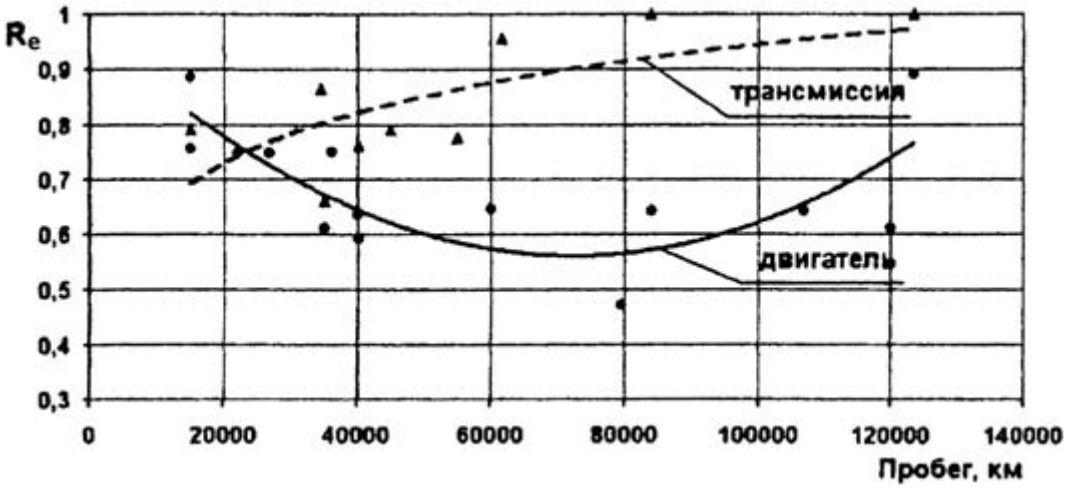

Рис. 3. Рейтинг эффективности препарата для двигателя и трансмиссии в зависимости от пробега автомобилей

Таблица 1

Распределение массива мнений респондентов при опросе по субъективной оценке изменения показателей качества двигателя после применения ЗВК "Реагент 2000 для двигателей"

j	Наименование показателя качества	Оценка изменения показателя качества, %		
		в лучшую сторону	не произошло	в худшую сторону
1	Уменьшение количества и длительности попыток запуска при низких температурах	88,2	11,8	0,0
2	Уменьшение вибрации и уровня шума при работе двигателя на разных режимах	94,1	5,9	0,0
3	Снижение расхода топлива при сохранении мощности	76,5	23,5	0,0
4	Повышение мощности при сохранении расхода топлива	94,1	5,9	0,0
5	Снижение токсичности и дымности выпускных ных газов	58,8	41,2	0,0
6	Снижение суммарного расхода моторного масла из-за угара, утечек через манжеты	35,3	64,7	0,0
7	Улучшение очистки двигателя от шлака, нагара, лакообразований	58,8	41,2	0,0
8	Снижение вероятности перегрева в жаркий период	35,3	58,8	6,3

изменения каждого показателя качества. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Анализ эффективности применения защитно-восстановительных препаратов "Реагент-2000" для двигателя и трансмиссии в зависимости от текущего технического состояния автотранспортной техники на основании рис. 3 позволяет сделать следующие выводы:

— применение препаратов на начальном этапе эксплуатации автомобиля, как правило, сразу значительного эффекта не дает, поскольку автомобиль находится в оптимальном техническом состоянии, но положительно скажется в дальнейшем на процессе приработки деталей и продлении периода установившихся технико-эксплуатационных параметров;

— использование препаратов на среднем этапе эксплуатации автомобиля, когда технико-эксплуатационные параметры уже вышли за пределы оптимальных, но еще не достигли критических, позволяет достичь ощутимого эффекта и повысить технико-эксплуатационные показатели до номинальных;

— применение препаратов на этапе критического износа экономически не целесообразно, но позволяет частично улучшить показатели на приемлемом уровне.

Отрицательный прогиб кривой рейтинга эффективности ЗВК "Реагент-2000 для двигателя" на рис. 3 объясняется тем, что автомобили с пробегом, соответствующим минимуму, принадлежали респондентам, имевшим небольшой опыт вождения автомобиля и затруднявшимся объективно оценить качественные изменения в работе двигателя, происходящие после его обработки. Автомобили с пробегом до 40 тыс. км, как правило, были не первыми у респондентов, либо опыт вож-

Таблица 2

Распределение массива мнений респондентов при опросе по субъективной оценке изменения показателей качества трансмиссии после применения ЗВК "Реагент 2000 для трансмиссии"

j	Изменения показателя качества	Оценка изменения показателя качества, %		
		в лучшую сторону	не произошло	в худшую сторону
1	Уменьшение вибрации и уровня шума агрегатов трансмиссии при движении автомобиля	77,8	22,2	0,0
2	Снижение расхода топлива при сохранении мощности	66,7	33,3	0,0
3	Повышение мощности при сохранении расхода топлива	88,9	11,1	0,0
4	Улучшение наката автомобиля	77,8	22,2	0,0
5	Уменьшение сопротивления в начале движения при низких температурах	77,8	22,2	0,0
6	Облегчение переключения передач	66,7	33,3	0,0

дения был значительный и респонденты более внимательно прислушивались к субъективным ощущениям и состоянию двигателя. Автомобили с пробегом более 100 тыс. км, как правило, принадлежали респондентам с большим опытом и внимательно прислушивающимся к субъективным ощущениям и состоянию двигателя.

Устойчивая положительная динамика кривой рейтинга эффективности защитно-восстановительного препарата "Реагент-2000 для трансмиссии" на рис, 3 объясняется тем, что все респонденты смогли объективно оценить эффект от применения препарата, а также тем, что эффект от использования препарата тем выше, чем больше пробег автомобиля.

В табл. 1 и 2 показано процентное распределение мнений респондентов об изменениях качества работы соответственно двигателя и трансмиссии, сложившееся в ходе опроса по субъективной оценке эффективности защитно-восстановительного препарата "Реагент-2000". За положительное изменение качества работы обработанных агрегатов принимались понятия в диапазоне от "незначительно" и "слегка" до "сильно" и "очень сильно". За отрицательное изменение качества работы испытуемых агрегатов принимался диапазон понятий, аналогичный двигателю. За отсутствие изменений принималось как абсолютное понятие, так и те случаи, когда респонденты затруднялись объективно и однозначно описать собственные ощущения после применения ЗВК "Реагент-2000".

Выводы

Проведенные исследования по определению качества услуг по безразборному сервису доказывают эффективность приведенной методики оценки качества используемого препарата в условиях неопределенности методом нечеткой логики. Такой подход к определению эффективности тех или иных препаратов безразборного сервиса наиболее приемлем и понятен с точки зрения потребителя, у которого зачастую вызывают недоверие заявляемые производителями препаратов цифры достигаемого эффекта в десятки процентов. Этим, а также недостаточной осведомленностью и технической подготовкой вызван определенный консерватизм рядового потребителя, препятствующий широкому распространению и применению технологий безразборного сервиса. Поэтому при оценке технико-эксплуатационной эффективности их применения рядовой потребитель препаратов автохимии может пользоваться набором субъективных показателей на качественном уровне (быстрее, тише, меньше и т. п.) и малым числом относительно объективных (количественных) — максимальной скоростью, темпом разгона, средним расходом топлива и т. п.

Для определения большего числа количественных показателей, повышения достоверности и информативности оценки эффективности препаратов безразборного сервиса и качества услуг по безразборному сервису потребитель может воспользоваться услугами автосервиса.

При назначении препаратов безразборного сервиса целесообразно учитывать индивидуальные особенности автотранспортной техники — техническое состояние агрегатов, качество используемых эксплуатационных материалов, условия эксплуатации и т. п.; сам же безразборный сервис должен осуществляться исключительно на основе научно обоснованных достоверных методик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Балабанов, В. И.** Автослесарь во флаконе (обкатка, обработка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление) [Текст] / В. И. Балабанов. — М.: АСТ: Астрель: Хранитель, 2006. — 125 с.
2. **Балабанов, В. И.** Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства [Текст] / В. И. Балабанов — М.: Астрель: АСТ, 2003. — 61 с.
3. **Гудков, В. А.** Определение показателей качества пассажирских перевозок в условиях неопределенности [Текст] / В. А. Гудков, И. В. Гермашев, М. М. Бочкарева, В. Е. Дербише // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. VIII Российской научно-практической конференции (29—30 ноября). — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. — С.107—115.

(По материалам 11-й Международной научно-практической конференции 14—17 апреля 2009 г.)

УДК 629.113

А. Н. Чичко,
Ю. М. Захарик,
д-ра техн. наук,
Ю. В. Яцкевич,
Т. В. Матюшинец,
О. И. Чичко,
канд-ты техн. наук;
ОАО "МАЗ"
(г. Минск)
E-mail:
vehicle@tut.by

Нейроалгоритмы в автомобилестроении

Предложены нейросетевые алгоритмы, позволяющие оценить степень подобия деталей по пространственному распределению материала. Показана возможность применения разработанных алгоритмов для решения задачи первичного выбора литниковой системы отливки на стадии проектирования.

Ключевые слова: *алгоритм, геометрия, конфигурация, пространство, сеть, система, файл, формат, элемент.*

Одним из наиболее перспективных путей ресурсосбережения в литейном производстве, не требующем серьезных капиталовложений, является проектирование оптимальных, с точки зрения их массы и качества отливки литниковых систем. Для решения этой проблемы, имеющей важное практическое значение, в Белорусском национальном техническом университете разрабатываются алгоритмы и программы, позволяющие оптимизировать технологию изготовления отливок. Однако эти программы в качестве исходных данных используют заданную технологом литниковую систему, которая "проверяется" расчетом на предмет технологичности, т. е. необходимо начальное приближение литниковой системы. Чтобы выбрать начальное приближение литниковой системы для отливки, требуются новые алгоритмы и программные средства, которые в настоящее время отсутствуют на литейных предприятиях.

Целью настоящей статьи является разработка алгоритмического обеспечения для решения задач по выбору литниковых систем на основе обучающей нейронной сети, построенной на базе данных по технологии предприятия.

Известно, что от конфигурации литниковой системы и ее положения по отношению к отливке зависит расход металла и энергоносителей, которые в конечном счете определяют себестоимость литейной продукции. Повышенный расход металла и энергоносителей на литниковую систему приводит к снижению конкурентоспособности литейной продукции. К тому же известно, что от выбора литниковой системы для отливки зависят такие виды брака отливок как усадочная пористость раковины, засор, недолив спаи. Уровень этих дефектов в конечном счете определяет экономические показатели производства отливок на литейном предприятии. Следует отметить, что в производстве литниковые системы часто далеки от оптимальных как по массе, так и по условиям заполнения металлом формы, что существенно влияет на качество получаемой отливки и увеличивает ее себестоимость. Таким образом, от выбора литниковой системы зависит рентабельность работы предприятия.

В настоящее время теория, позволяющая выбирать начальное приближение литниковых систем по заданным наборам признаков, находится в стадии разработки и поэтому предлагаемые методы часто носят частный, не универсальный характер и справедливы для определенных условий, т. е. разработка алгоритмов и методов, позволяющих классифицировать отливки различного назначения, является актуальной и от ее решения зависит качество технологических решений, принимаемых при разработке технологического процесса. Как следствие, на промышленных предприятиях практически отсутствуют программные средства, позволяющие, используя методы классификации, выбирать оптимальную литниковую систему.

Решение задачи классификации и выбора литниковой системы можно проводить с использованием методов нейронных сетей. При классификации отливок нейронная сеть обучается по важнейшим их признакам, таким как характеристики геометрии отливки, особенности охлаждения отливки и т. д. В процессе обучения выделяются признаки, отличающие отливки друг от друга, которые и составляют информационную базу для принятия решений об отнесении отливок к соответствующим классам. Информация о каждой отливке представляется в виде

вектора, конструкторско-технологических признаков, наиболее полно и достоверно отвечающего требованиям нейросетевого моделирования. Признаки отливок определяются посредством анализа их твердотельной модели и чертежа на основе различных стандартов. Таким образом, эти методы позволяют на основе эмпирической информации, в данном случае заводской и промышленно апробированной, выбирать литниковые системы, которые в дальнейшем оцениваются экспертными системами, о которых пойдет речь ниже.

Таким образом, проблема автоматизированного выбора литниковых систем на основе задач классификации и кодирования объектов типа "отливка—литниковая система" является актуальной, так как от ее решения зависит уровень автоматизации технологической подготовки производства, а также уровень качества отливок и материальные затраты на их производство.

Бесконечное разнообразие геометрических форм изготавливаемых отливок и технологических параметров литья (марки стали, температура заливки и пр.) приводит к невозможности формализации и аналитического решения данной задачи. Невозможно даже формализовать критерии оптимальности результата решения задачи, поскольку для изготовления конкретной отливки могут с близкой эффективностью использоваться разные литниковые системы. Кроме того, приемлемое решение чаще всего является компромиссом между расходом металла, качеством отливки, сложностью изготовления литниковой системы и др. Для различных отливок требования к качеству и расходу металла могут быть разными. Например, может допускаться некоторый уровень пористости в определенной области отливки (некритичной к физическим нагрузкам) при значительной экономии металла в литниковой системе.

На практике успешность проектирования литниковой системы в очень большой степени зависит от интуитивного выбора и опытности проектировщика. Он чаще всего принимает решение, сравнивая целевую отливку с успешно изготовленными им ранее отливками. И проектирует целевую литниковую систему по аналогии с вариантом, соответствующим наиболее похожей отливке.

Поэтому основная идея данной работы состоит в автоматизации выбора литниковой системы для изготовления целевой отливки из уже имеющихся вариантов ранее использованных литниковых систем путем сравнения соответствующих им отливок (прототипов) с целевой отливкой. Основные задачи, решаемые в данной работе:

1) формализация критериев и правил оценки степени схожести двух отливок (целевой и ранее изготовленной) с точки зрения использования аналогичной литниковой системы;

2) разработка алгоритма и компьютерной программы, производящей интегральную оценку возможности использования аналогичной литниковой системы для двух отливок;

3) разработка программы для создания и наращивания компьютерной базы данных успешно изготовленных отливок (прототипов) и соответствующих им вариантов литниковых систем;

4) разработка алгоритма поиска в базе данных нескольких прототипов, наиболее близких к целевой отливке, и выдачи соответствующих им литниковых систем.

Таким образом, одним из результатов выполнения данной работы является программное обеспечение для создания и наращивания компьютерной базы данных успешно изготовленных отливок (шаблонов) и соответствующих им вариантов литниковых систем, а также поиска в этой базе вариантов литниковых систем, наиболее подходящих для изготовления конкретной (целевой) отливки. Эта программа в некоторой степени компенсирует возможный недостаток опыта проектировщика литниковых систем и не позволяет некоторым вариантам проектируемой литниковой системы остаться без внимания проектировщика.

Предполагается следующая общая методика выбора (проектирования) литниковой системы для изготовления целевой отливки:

1) с помощью какой-либо компьютерной системы трехмерного проектирования ("ProEngeneer", "SolidWorks",...) создается файл в формате "*.stl", в котором содержится трехмерное описание геометриче-

ской формы отливки (набор треугольников в трехмерном пространстве, аппроксимирующих поверхность отливки);

2) файл отливки передается в разработанную систему, которая отыскивает в имеющейся базе данных несколько наиболее близких вариантов отливок и выдает в качестве результата соответствующие им литниковые системы вместе с оценками возможности их использования для изготовления входной отливки;

3) проектировщик литниковой системы выбирает наиболее подходящий по его мнению вариант и, если требуется, по традиционным методикам вносит какие-либо изменения с учетом специфики целевой отливки и геометрических различий между целевой отливкой и подобранным прототипом;

4) после изготовления и успешной апробации спроектированной таким образом литниковой системы эта литниковая система и исходная отливка вносятся в базу данных для дальнейшего использования полученного решения в качестве прототипа при разработке других литниковых систем.

Алгоритм оценки степени подобия двух отливок с точки зрения использования близких по типу литниковых систем. Основной задачей данной работы является разработка эффективного алгоритма для оценки степени схожести (сравнения) двух отливок с точки зрения использования одинаковых литниковых систем для их изготовления. Эта задача делится на две подзадачи.

Первая подзадача состоит в определении некоторых общих параметров (макропараметров) двух отливок, таких как габаритные размеры и масса (или объем), и определении критериев и правил вычисления на их основе оценки степени схожести этих отливок. Вторая подзадача состоит в разработке алгоритма оценки схожести двух отливок на основе сравнения распределения их массы по геометрическому пространству. Оценки, получаемые по первому и второму алгоритму, приводятся к одной интегральной оценке, позволяющей судить о степени пригодности одной и той же литниковой системы для изготовления двух отливок.

Такое разделение на подзадачи обусловлено инвариантностью в некоторых пределах массы и габаритных размеров по отношению к геометрической форме отливок, т. е. если отливки имеют одинаковую геометрическую форму, но разные размеры (одна является уменьшенной копией другой), то для них, естественно, надо использовать одинаковые по форме, но разные по размеру, литниковые системы. Но эта инвариантность сохраняется лишь в некоторых пределах соотношения геометрических размеров. Например, при двукратном соотношении размеров отливок использование одинаковых литниковых систем уже сомнительно, а при четырехкратном в большинстве случаев — абсурдно.

Исходное описание геометрической формы отливки ("*.stl"-файл) представляет собой список трехмерных координат вершин треугольников, аппроксимирующих поверхность отливки: $[(x_{00}, y_{00}, z_{00}), x_{01}, y_{01}, z_{01}), (x_{02}, y_{02}, z_{02})]$, $[(x_{10}, y_{10}, z_{10}), (x_{11}, y_{11}, z_{11}), (x_{12}, y_{12}, z_{12})]$, ..., $[(x_{N0}, y_{N0}, z_{N0}), (x_{N1}, y_{N1}, z_{N1}), (x_{N2}, y_{N2}, z_{N2})]$, где N — общее количество треугольников, используемых для представления поверхности отливки. Поэтому определение габаритных размеров отливки сводится к нахождению разности между максимальной и минимальной координатой среди всех вершин по трем координатным направлениям

$$\left.\begin{aligned} &L_x = \max_{i=0\ldots N}(x_{i0}, x_{i1}, x_{i2}) - \\ &- \min_{i=0\ldots N}(x_{i0}, x_{i1}, y_{i2}); \\ &L_y = \max_{i=0\ldots N}(y_{i0}, y_{i1}, y_{i2}) - \\ &- \min_{i=0\ldots N}(y_{i0}, y_{i1}, y_{i2}); \\ &L_z = \max_{i=0\ldots N}(z_{i0}, z_{i1}, z_{i2}) - \\ &- \min_{i=0\ldots N}(z_{i0}, z_{i1}, z_{i2}), \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где L_x, L_y, L_z — длина, высота и ширина отливки.

Вычисление объема и связанной с ним массы отливки является более сложной задачей.

В данной работе применяется приближенный метод вычисления объема, который состоит в дискретизации пространства, занятого отливкой ($L_x \times L_y \times L_z$), набором кубических элементов с одинаковыми размерами каждого $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0{,}5$ мм. Если центр элемента расположен внутри отливки, то этот элемент пространства считается полностью заполненным материалом отливки и ему присваивается статус "полный" $V(i, j, k) = 1$. Иначе элемент считается пустым и ему присваивается статус "пустой" $V(i, j, k) = 0$. Тогда объем отливки приблизительно равен сумме объемов элементов, заполненных материалом

$$V_o = \sum_{k=0}^{K}\sum_{j=0}^{J}\sum_{i=0}^{I}(V(i, j, k)\Delta x, \Delta y, \Delta z), \quad (2)$$

где V_o — объем отливки.

При таком способе аппроксимации, чем меньше размеры элементов и более простая поверхность отливки (меньше элементов пересекается с

поверхностью), тем выше точность вычисления объема.

Для определения пространственного расположения каждого элемента относительно поверхности отливки (внутри или снаружи) используется следующий алгоритм.

1. Рассматривается ряд элементов, расположенных вдоль оси X с координатами центров $(0{,}5\Delta x; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$, $(1{,}5\Delta x; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$, ..., $((i+0{,}5)\Delta x; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$, ..., $((I+0{,}5)\Delta x; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$. Их центры расположены на линии $\{y = 0{,}5\Delta y; z = 0{,}5\Delta z\}$.

2. Всем этим элементам присваивается статус "пустой" ($V(i, 0, 0) = 0$, где $i = 0, ..., I$).

3. Просматриваются все треугольники поверхности отливки и вычисляются все точки пересечения центральной линии ряда с треугольниками (рис. 1).

4. Найденные точки группируются попарно в зависимости от расположения вдоль центральной линии ряда таким образом, что отрезок линии между каждой парой точек расположен внутри отливки. Например, точки $A(x_A; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$ и $B(x_B; 0{,}5\Delta y; 0{,}5\Delta z)$ на рис. 1.

5. Всем элементам, центры которых расположены на линии между парами найденных точек пересечения, присваивается статус "полный" (рис. 2). Например, $V(i, 0, 0) = 1$, для таких i, что $x_A < (i + 0{,}5)\Delta x < x_B$.

6. Выбирается следующий ряд элементов с координатами центров $(0{,}5\Delta x; (j + 0{,}5)\Delta y; (k + 0{,}5)\Delta z)$, $(1{,}5\Delta x; (j + 0{,}5)\Delta y; (k + 0{,}5)\Delta z)$, ..., $((i + 0{,}5)\Delta x; (j + 0{,}5)\Delta y; (k + 0{,}5)\Delta z)$, ..., $((I + 0{,}5)\Delta x; (j + 0{,}5)\Delta y; (k + 0{,}5)\Delta z)$ и повторяется последовательность действий пп. 2—5, пока все пространство не будет полностью "раскрашено" ($j = 1, ..., J$, $k = 1, ..., K$).

Масса отливки определяется произведением объема на плотность металла

$$m = V_0\rho. \qquad (3)$$

Для определения степени сходства отливок по массе и габаритным размерам задаются соотношения соответствующих параметров двух отливок, при котором они считаются абсолютно одинаковыми или абсолютно различными. Например, при соотношении масс двух отливок $M_{eq} = m_1/m_2 = 1/1$ отливки считаются одинаковыми по массе, а при соотношении

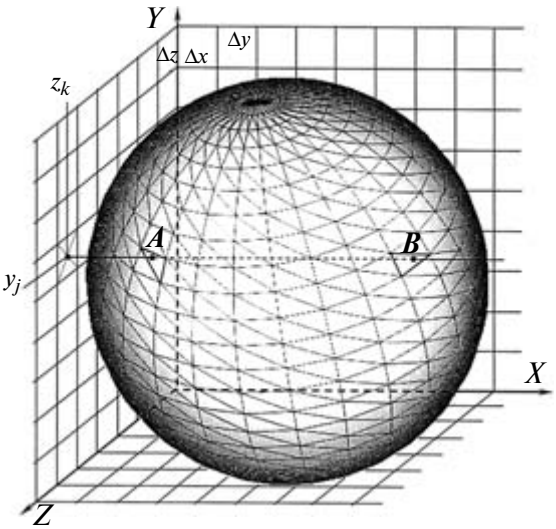

Рис. 1. Описание поверхности отливки (аппроксимируется треугольниками) для пространственного распределения материала отливки (аппроксимируется объемными кубическими элементами):

этап 1: поиск точек пересечения (A и B) поверхности отливки с центральной линией (y_i, z_k) горизонтального ряда кубических элементов

$M_{diff} = \min\{m_1, m_2\}/\max\{m_1, m_2\} = 1/4$ они считаются абсолютно разными по массе. В интервале между этими соотношениями отливки имеют некоторый процент сходства по массе.

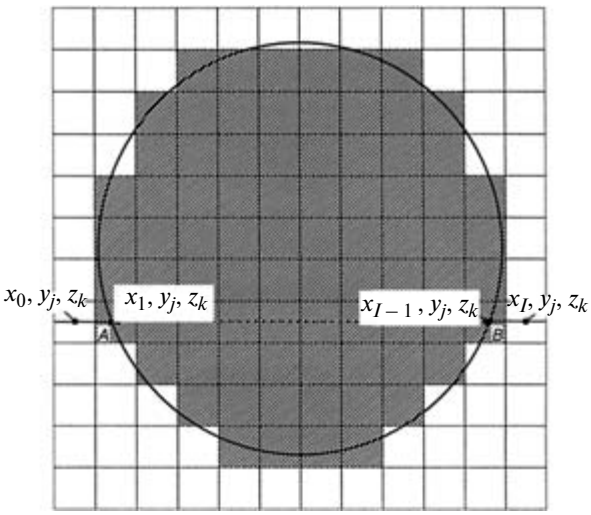

Рис. 2. Получение из описания поверхности отливки пространственного распределения материала отливки (аппроксимируется объемными кубическими элементами):

этап 2: придание кубическим элементам пространства, расположенным между точками (A и B) пересечения поверхности отливки с центральной линией горизонтального ряда, статуса "заполненных" металлом

Критерий степени сходства отливок по массе вычисляется по формуле

$$K_m = \begin{cases} 1 \text{ при } \dfrac{\min(m_1, m_2)}{\max(m_1, m_2)} \geqslant M_{eq}; \\ \left(\dfrac{\min(m_1, m_2)}{\max(m_1, m_2)} - M_{diff}\right) / (M_{eq} - M_{diff}) \text{ при } M_{diff} < \dfrac{\min(m_1, m_2)}{\max(m_1, m_2)} \leqslant M_{eq}; \\ 0 \text{ при } \dfrac{\min(m_1, m_2)}{\max(m_1, m_2)} < M_{diff}. \end{cases} \quad (4)$$

Величина K_m изменяется в пределах 0—1, что в пределе соответствует абсолютно различным и абсолютно одинаковым по массе отливкам. Аналогично вычисляются критерии сходства по габаритным размерам

$$K_x = \begin{cases} 1 \text{ при } \dfrac{\min(L_{x1}, L_{x2})}{\max(L_{x1}, L_{x2})} \geqslant L_{xeq}; \\ \left(\dfrac{\min(L_{x1}, L_{x2})}{\max(L_{x1}, L_{x2})} - L_{xdiff}\right) / (L_{xeq} - L_{xdiff}) \text{ при } L_{xdiff} < \dfrac{\min(L_{x1}, L_{x2})}{\max(L_{x1}, L_{x2})} \leqslant L_{xeq}; \\ 0 \text{ при } \dfrac{\min(L_{x1}, L_{x2})}{\max(L_{x1}, L_{x2})} < L_{xdiff}; \end{cases} \quad (5)$$

$$K_y = \begin{cases} 1 \text{ при } \dfrac{\min(L_{y1}, L_{y2})}{\max(L_{y1}, L_{y2})} \geqslant L_{yeq}; \\ \left(\dfrac{\min(L_{y1}, L_{y2})}{\max(L_{y1}, L_{y2})} - L_{ydiff}\right) / (L_{yeq} - L_{ydiff}) \text{ при } L_{ydiff} < \dfrac{\min(L_{y1}, L_{y2})}{\max(L_{y1}, L_{y2})} \leqslant L_{yeq}; \\ 0 \text{ при } \dfrac{\min(L_{y1}, L_{y2})}{\max(L_{y1}, L_{y2})} < L_{ydiff}; \end{cases} \quad (6)$$

$$K_z = \begin{cases} 1 \text{ при } \dfrac{\min(L_{z1}, L_{z2})}{\max(L_{z1}, L_{z2})} \geqslant L_{zeq}; \\ \left(\dfrac{\min(L_{z1}, L_{z2})}{\max(L_{z1}, L_{z2})} - L_{zdiff}\right) / (L_{zeq} - L_{zdiff}) \text{ при } L_{ydiff} < \dfrac{\min(L_{z1}, L_{z2})}{\max(L_{z1}, L_{z2})} \leqslant L_{zeq}; \\ 0 \text{ при } \dfrac{\min(L_{z1}, L_{z2})}{\max(L_{z1}, L_{z2})} < L_{zdiff}; \end{cases} \quad (7)$$

где L_{z1}, L_{y1}, L_{z1} — габаритные размеры первой отливки; L_{x2}, L_{y2}, L_{z2} — габаритные размеры второй отливки.

Для вычисления критерия сходства K_g по пространственному распределению материала отливок используется нейросетевой алгоритм, описанный ниже.

Общий (интегральный) критерий сходства определяется произведением всех частных критериев

$$K_0 = K_m K_x K_y K_z K_g. \qquad (8)$$

Этот критерий определяет степень пригодности одной и той же литниковой системы для изготовления двух различных отливок. Его значение изменяется в пределах от 0 до 1, что соответствует абсолютной непригодности и полной пригодности. На основе этого критерия строится алгоритм поиска наиболее приемлемых литниковых систем для изготовления целевой отливки из множества литниковых систем и соответствующих им отливок, хранящегося в виде компьютерной базы данных, т. е. для всех пар целевая отливка (n-я базовая отливка) определяется на основе критерия $K_{оп}$ и в качестве решения выбирается одна или несколько литниковых систем с наибольшим значением ($K_о = \max_{n=1...N}(K_{оп})$).

Нейросетевой алгоритм оценки степени схожести двух отливок по пространственному распределению материала. Для вычисления критерия сходства K_g по пространственному распределению материала отливок применяется нейросетевой алгоритм. Сущность алгоритма состоит в использовании специально разработанной распределенной решающей системы, называемой нейронной сетью (НС) по аналогии с уже существующими и широко используемыми подобными системами. Эта НС вырабатывает числовую характеристику K_g и настраивается на выработку приемлемых решений в процессе специальной процедуры, называемой "обучением" или "тренировкой". Для тренировки НС используется множество входных пар обучающих отливок и соответствующие им значения K_g, определенные экспертом.

Структура разработанной сети представлена на рис. 3.

Поскольку анализируется трехмерное геометрическое пространство, матрица

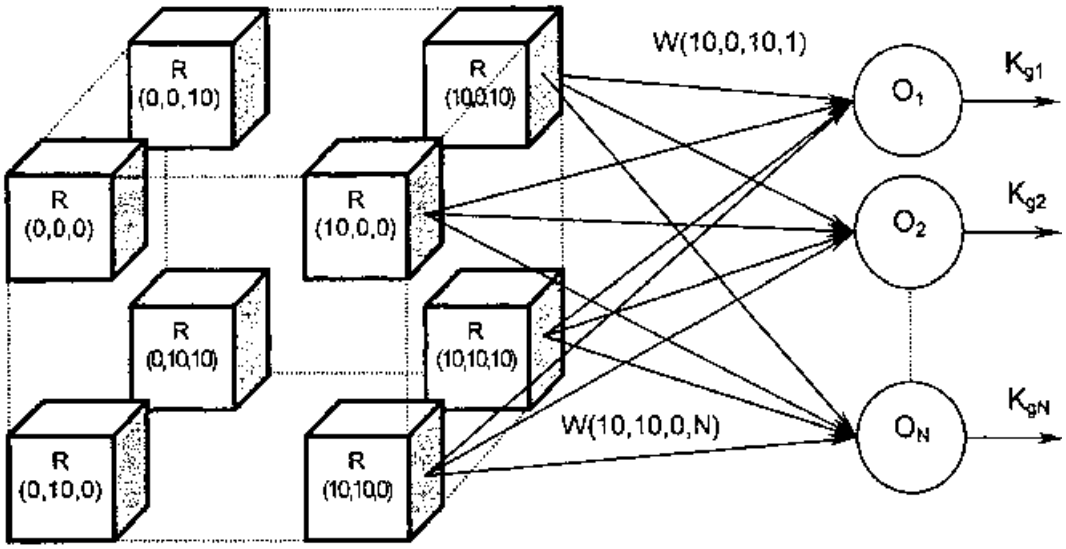

Рис. 3. Структура нейронной сети для вычисления критериев сходства $K_{g1}...K_{gN}$ по пространственному распределению материала произвольной входной отливки и N базовых отливок:

$R(0, 0, 0)$, ..., $R(10, 10, 10)$ — трехмерное поле рецепторов сети; O_1, ..., O_N — решающие элементы (нейроны), $W(0, 0, 0, 1)$, ..., $W(10, 10, 10, N)$ — весовые коэффициенты связей нейронов

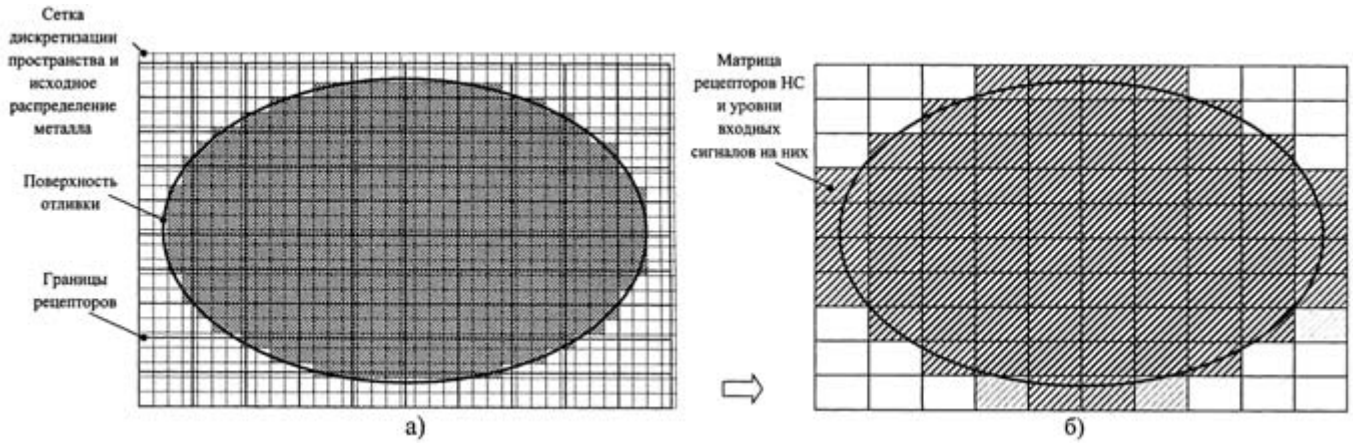

Рис. 4. Преобразование дискретного пространственного распределения материала отливки во множество входных сигналов матрицы рецепторов нейронной сети:

а — дискретное пространственное распределение материала отливки; б — множество входных сигналов матрицы рецепторов нейронной сети; темная штриховка — высокие значения входных сигналов, светлая штриховка — низкие значения

входных элементов (рецепторов R) представляет собой трехмерный массив 10 × 10 × 10. Это значит, что геометрическое пространство сравниваемых отливок делится на 10 × 10 × 10 соответствующих прямоугольных областей, в которых анализируется количество материала. Поскольку конечная цель работы разрабатываемой программы — выбрать несколько наиболее подходящих для целевой отливки из множества N базовых отливок, то сеть имеет N решающих элементов (нейронов $O_1, ..., O_N$), каждый из которых вырабатывает критерий сходства K_g для соответствующей пары входной и базовой отливок ($K_{g1}, ..., K_{gN}$). Величина K_g изменяется в пределах от 0 до 1, которые соответствуют полной противоположности и полной идентичности пространственного распределения материала в отливках, т. е. наиболее подходящий вариант будет соответствовать максимальному значению ($K_g = \max_{n = 1...N}(K_{gn})$).

Весовые коэффициенты связи между рецепторами и нейронами $W(0, 0, 0, 1), ..., W(10, 10, 10, N)$ определяют вклад (или значимость) каждого элемента пространства в решение о сходстве входной отливки и соответствующей нейрону базовой отливки. Величина $W(i, j, k, n)$ изменяется в пределах от 0 до 1, которые соответствуют полному безразличию принимаемого решения к наличию материала в области пространства (i, j, k) и максимальной значимости.

Первая задача, которая решается в контексте этого алгоритма, состоит в преобразовании трехмерного пространственного распределения материала двух сравниваемых отливок во множество сигналов, которые поступают на вход матрицы рецепторов нейронной сети. Исходное дискретное распределение материала было получено в процессе расчета объема отливки. Оно представляет собой трехмерное поле кубических элементов одинакового ($\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0{,}5$ мм) размера, каждый из которых имеет одно из двух состояний: "0" — пустое пространство и "1" — заполненное металлом пространство (рис. 4, а). Количество элементов по разным пространственным направлениям в общем случае различное и зависит от габаритных размеров отливки. Требуется получить трехмерное поле 10 × 10 × 10 прямоугольных элементов одинакового размера. Но длина, ширина и высота элемента в общем случае отличаются между собой и зависят от габаритных размеров отливки: $\Delta x_R = L_x/10$, $\Delta y_R = L_y/10$, $\Delta z_R = L_z/10$. Состояние каждого элемента определяется непрерывной величиной в соответствии с количеством металла, находящегося в области пространства, занятого элементом (рис. 4, б).

Исходя из приведенного представления, значение входного сигнала, поступающего на вход каждого рецептора, определяется выражением:

$$R_{in}(l, m, p) = \frac{\sum_{k=0}^{K}\sum_{j=0}^{J}\sum_{i=0}^{I}\begin{cases} V(i,j,k)\Delta x\Delta y\Delta z \text{ при } l\Delta x_R \leqslant (i+0{,}5)\Delta x < (l+1)\Delta x_R, \\ \qquad m\Delta y_R \leqslant (j+0{,}5)\Delta y < (m+1)\Delta y_R, \\ \qquad p\Delta z_R \leqslant (k+0{,}5)\Delta z < (p+1)\Delta z_R, \\ 0 \quad \text{при } l\Delta x_R \leqslant (i+0{,}5)\Delta x < (l+1)\Delta x_R, \\ \qquad m\Delta y_R \leqslant (j+0{,}5)\Delta y < (m+1)\Delta y_R, \\ \qquad p\Delta z_R \leqslant (k+0{,}5)\Delta z < (p+1)\Delta z_R, \end{cases}}{\sum_{k=0}^{K}\sum_{j=0}^{J}\sum_{i=0}^{I}\begin{cases} \Delta x\Delta y\Delta z \text{ при } l\Delta x_R \leqslant (i+0{,}5)\Delta x < (l+1)\Delta x_R, \\ \qquad m\Delta y_R \leqslant (j+0{,}5)\Delta y < (m+1)\Delta y_R, \\ \qquad p\Delta z_R \leqslant (k+0{,}5)\Delta z < (p+1)\Delta z_R, \\ 0 \quad \text{при } l\Delta x_R \leqslant (i+0{,}5)\Delta x < (l+1)\Delta xR, \\ \qquad m\Delta y_R \leqslant (j+0{,}5)\Delta y < (m+1)\Delta y_R, \\ \qquad p\Delta z_R \leqslant (k+0{,}5)\Delta z < (p+1)\Delta z_R, \end{cases}} \quad (9)$$

где l, m, p — индексы рецептора в трехмерном массиве рецепторов по координатным направлениям X, Y, Z соответственно; $\Delta x_R, \Delta y_R, \Delta z_R$ — размеры пространства рецептора; i, j, k — индексы элементов дискретизации пространства по координатным направлениям X, Y, Z соответственно; I, J, K — максимальные значения индексов i, j, k; $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ — шаг дискретизации пространства (размеры элементов дискретизации пространства); $V(i, j, k)$ — функция распределения материала отливки по пространству.

Это значение изменяется в пределах 0...1 и приблизительно равно соотношению объема, занятого металлом в пространстве рецептора, к общему объему пространства рецептора.

Каждый рецептор $R(l, m, p)$ принимает два входных сигнала $R_{inA}(l, m, p)$ и $R_{inB}(l, m, p)$, соответствующие распределению материала в целевой и базовой отливках, и вырабатывает выходной сигнал

$$R_{in}(l, m, p) = 1 - |R_{inA}(l, m, p) - R_{inB}(l, m, p)|, \quad (10)$$

т. е. функция рецептора $R(l, m, p)$ — определить, насколько количество металла в целевой отливке отличается от количества металла в базовой отливке для (l, m, p)-й области пространства.

Каждый n-й нейрон сети принимает сигналы (10) со всех рецепторов и вырабатывает на выходе результирующий сигнал K_{gn}, величина которого определяется по формуле

$$K_{gn} = \frac{\sum_{l=0}^{L}\sum_{m=0}^{M}\sum_{p=0}^{P}(W(l, m, p, n)R(l, m, p))}{\sum_{l=0}^{L}\sum_{m=0}^{M}\sum_{p=0}^{P}W(l, m, p, n)}. \quad (11)$$

Алгоритм обучения нейронной сети. Сущность "тренировки" сети состоит в подборе таких весовых коэффициентов связи $W(0, 0, 0, n)...W(10, 10, 10, n)$ между рецепторами и n-м нейроном, чтобы величина критерия K_{gn} была корректной с субъективной точки зрения эксперта.

В данной работе использован следующий алгоритм "тренировки":

1) на вход нейронной сети предъявляется некоторая целевая отливка;

2) выбирается отливка n из имеющегося в базе данных множества прототипов;

3) НС вырабатывает некоторое значение критерия K_{gn} для этой пары отливок;

4) если значение критерия эксперт признает неправильным и вводит правильное значение K'_{gn}, то весовые коэффициенты связей изменяются в соответствии с формулой

$$W'(l, m, p, n) = \\ = W(l, m, p, n) + \Delta W R(l, m, p), \qquad (12)$$

где $W'(l, m, p, n)$ — новое значение коэффициента; $l = 1, ..., L$, $m = 1, ..., M$, $p = 1, ..., P$;

$$\Delta W = \\ = \frac{(K_{gn} - K'_{gn}) \sum_{l=0}^{L} \sum_{m=0}^{M} \sum_{p=0}^{P} W(l, m, p, n)}{K'_{gn} \sum_{l=0}^{L} \sum_{m=0}^{M} \sum_{p=0}^{P} R(l, m, p) - \sum_{l=0}^{L} \sum_{m=0}^{M} \sum_{p=0}^{P} R^2(l, m, p)}; \qquad (13)$$

5) если значение критерия эксперт признает правильным, то выбирается следующая отливка из базы (переход на шаг 2);

6) если для всех прототипов $n = 1, ..., N$ НС вырабатывает правильные критерии, то тренировка закончена (для данной целевой отливки).

Вывод. Для более качественной работы системы этот алгоритм должен быть повторен для возможно большего числа различных входных отливок.

Таким образом, разработаны нейросетевые алгоритмы, позволяющие оценить степень подобия двух отливок по пространственному распределению материала. Это может стать основой создания новой группы алгоритмов для выбора литниковых систем отливок с неопределенной литниковой системой и их дальнейшей оптимизации с помощью систем компьютерного моделирования литейных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чичко, А. Н.** Модели и алгоритмы для САПР технологического процесса изготовления отливок, ориентированного под суперкомпьютер СКИФ [Текст] / А. Н. Чичко, Т. В. Матюшина, Л. В. Марков и др. // Литье и металлургия. — 2009. − № 1. — С. 94—101.
2. **Чичко, А. Н.** Автоматизация разработки технологических процессов литейного производства на основе КС "ПроЛит-lс" под суперкомпьютер "СКИФ" [Текст] / А. Н. Чичко, С. Г. Лихоузов, В. Ф. Соболев, О. А. Сачек, О. И. Чичко // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28—29 окт. 2009 г. / БГТУ. — Минск, 2009. — С. 252—254.

НОВОСТИ

Производственная система "КАМАЗ" работает

В 2009 г. ОАО "КАМАЗ" стало лидером среди предприятий автомобильной промышленности России по развитию своей Производственной системы и внедрению принципов компании "Тойота".

Об этом на пресс-конференции, посвященной итогам прошедшего года и перспективам развития производства компании в 2010 г., заявил первый заместитель генерального директора — исполнительный директор ОАО "КАМАЗ" Юрий Клочков.

Наиболее значительными проектами корпоративного масштаба по дальнейшему совершенствованию Производственной системы (ПС) "КАМАЗ" в 2009 г. стали изменения в структуре управления компанией, системах логистики, закупок и менеджмента качества. Реформы в сфере организации производства были вызваны коренными изменениями характера деятельности компании, в том числе и значительным расширением модельного ряда основной продукции — грузовых автомобилей КАМАЗ до 2000 модификаций и вариантов комплектаций. Реализация всех начатых проектов будет завершена в течение 2010 г.

Проведенные в рамках развития ПС "КАМАЗ" мероприятия и уже внедренные проекты дали экономический эффект 1,6 млрд руб.

Особое внимание в 2010 г., по словам Ю. Клочкова, будет уделено перестройке системы управления производством в части приема и выполнения заказов потребителей.

Компания перенимает богатый опыт своего стратегического партнера "Даймлер" АГ по выстраиванию системы закупок. Практика закупочной деятельности немецкого концерна считается самой совершенной и эффективной в Европе.

Совершенствование системы менеджмента качества и повышение качества выпускаемой продукции станет основным в 2010 г. В этой связи Юрий Клочков особо отметил роль совместных с ведущими мировыми производителями предприятий, действующих на производственной базе "КАМАЗа". Лучшим среди них в 2009 г. стало СП "КНОРР-БРЕМЗЕ КАМА". В 2010 г. в полном объеме заработает и СП "Федерал Могул Набережные Челны".

Продолжится также реализация проектов по совершенствованию производственной базы самого "КАМАЗа" в рамках его Производственной системы. Цех сборки кабин автомобильного завода, по мнению Ю. Клочкова, уже соответствует самым строгим европейским требованиям. Поставлена цель: в 2010 г. такого же соответствия должны достичь и все линии главного сборочного конвейера.

(По материалам ОАО "КАМАЗ")

УДК 629.113

А. М. Захарик,
канд. техн. наук,
В. В. Корсаков,
инж.,
гл. констр.,
О. Р. Рухтишель,
д-р техн. наук,
С. В. Крутицкий,
Д. Н. Сидоренко;
инж-ры;
ОАО "МАЗ"
(г. Минск)
E-mail:
vehicle@tut.by

Оценка вибронагруженности узлов автомобиля с учетом упругих свойств его рамы

Рассмотрены вопросы расчета вибрации на рабочем месте водителя грузового автомобиля при работе двигателя на холостом ходу. Приведена общая методика расчета вибрации в среде MSC. ADAMS. Выполнены сравнение результатов расчета моделей с гибкой и жесткой рамами и с экспериментальными данными, оценка влияния таких конструктивных мероприятий как изменение жесткости и расположения опор двигателя, а также жесткости рамы на вибрацию в кабине.

Ключевые слова: *вибрация, грузовой автомобиль, двигатель, моделирование, рама.*

При создании автомобилей МАЗ нового семейства с новым шестицилиндровым рядным двигателем ЯМЗ-650 мощностью 410 л. с. была выявлена повышенная вибрация в кабине неподвижного автомобиля во время работы двигателя на холостом ходу в 6-й октавной полосе со среднегеометрической частотой $\nu = 31{,}5$ Гц (виброускорения достигали $a_6 = 0{,}83$ м/с^2 на полу кабины, в других октавах они составляли 0,2—0,3 м/с^2).

Для детального исследования причин возникновения повышенной вибрации осуществлено компьютерное моделирование в системе ADAMS — широко известной и используемой в среде для комплексного моделирования сложных механических систем, создания виртуальных прототипов изделий и проведения виртуальных испытаний [1]. Система ADAMS отличается широким набором видов кинематических связей, упругих и диссипативных звеньев, нагрузок, кинематических воздействий. Так, в модели автомобиля, созданной в среде ADAMS (рис. 1) с помощью специальных функций учтены упругие свойства шин, подрессоривание автомобиля, подрессоривание кабины и крепление двигателя. Такие узлы как кабина, рама, двигатель, мосты и т. д. на первом этапе созданы в виде жестких звеньев с массово-инерционными характеристиками, соответствующими реальным объектам.

Выполнен расчет разработанной модели по определению собственных частот и форм колебаний двигателя и автомобиля с жесткой рамой. Собственные частоты колебаний двигателя на его подвеске при жесткой раме находятся в диапазоне 2,2—19,3 Гц. Эта частота лежит в границах 5-й октавы, следовательно, всплеск виброускорений в 6-й октаве (22,4—44,8 Гц) нельзя объяснить резонансными явлениями, связанными с колебаниями двигателя на его подвеске.

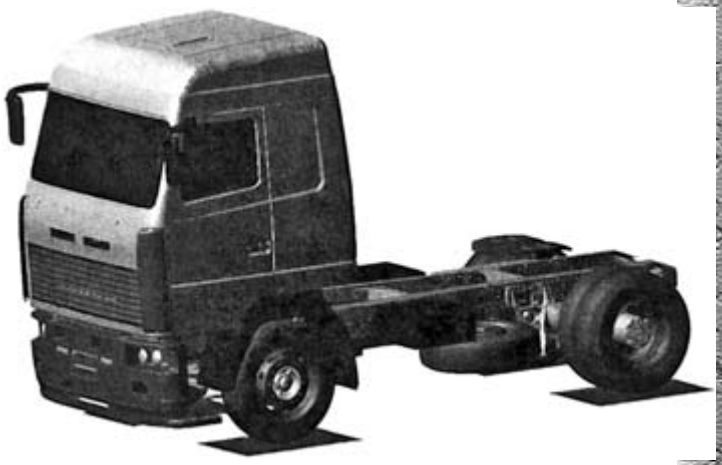

Рис. 1. Общий вид модели автомобиля

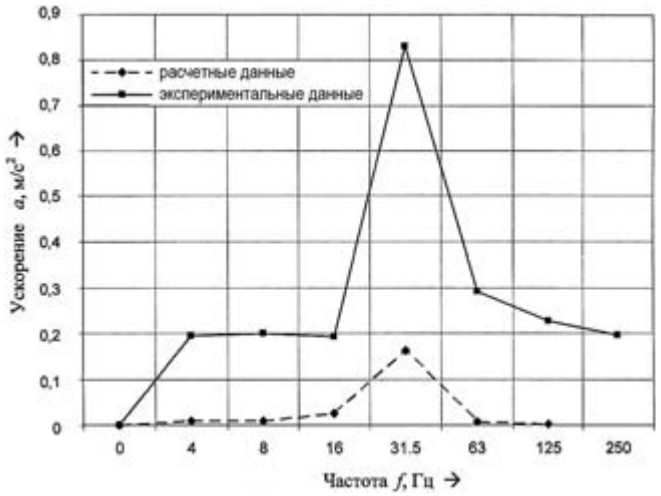

Рис. 2. Кривые виброускорений на полу кабины модели автомобиля с жесткой рамой

Расчет также показал, что собственные частоты колебаний подрессоренной массы автомобиля с жесткой рамой на подвеске составляют около 1 Гц, кабины на собственном подрессоривании находятся в диапазоне 1—2 Гц, мостов на шинах — в диапазоне 4—8 Гц, что значительно меньше границ 6-й октавной полосы.

При расчете виброускорений на полу кабины модели автомобиля с жесткой рамой выявилось существенное расхождение экспериментальных и расчетных данных (рис. 2).

Было предположено, что существенно влияет на колебательную систему автомобиля податливость несущей рамы автомобиля. Для проверки этой гипотезы необходимо учесть упругие свойства рамы в расчетной модели. В системе ADAMS предусмотрена возможность учета податливости компонентов исследуемой машины. Для этого упругие характеристики частей машины определяются в конечно-элементной системе MSC Nastran, а затем в специальном формате передаются в систему ADAMS и включаются в виртуальную модель, что позволяет учесть влияние податливости звеньев на динамику механизма. Основные принципы создания конечно-элементной модели клепаной рамы и трансляции в систему ADAMS для учета ее упругих свойств изложены в работе [2].

Расчет собственных колебаний модели автомобиля, в которую вместо жесткой рамы введена гибкая рама, т. е. учитывающей не только массоинерционные характеристики, но и характеристики жесткости узла, показал, что в диапазоне 1—38 Гц лежит ряд собственных частот, связанных с колебаниями рамы как гибкого тела (рис. 3), вследствие чего может быть резонанс при работе двигателя на холостом ходу.

Следующим этапом в исследовании было воспроизведение работы двигателя на холостом ходу

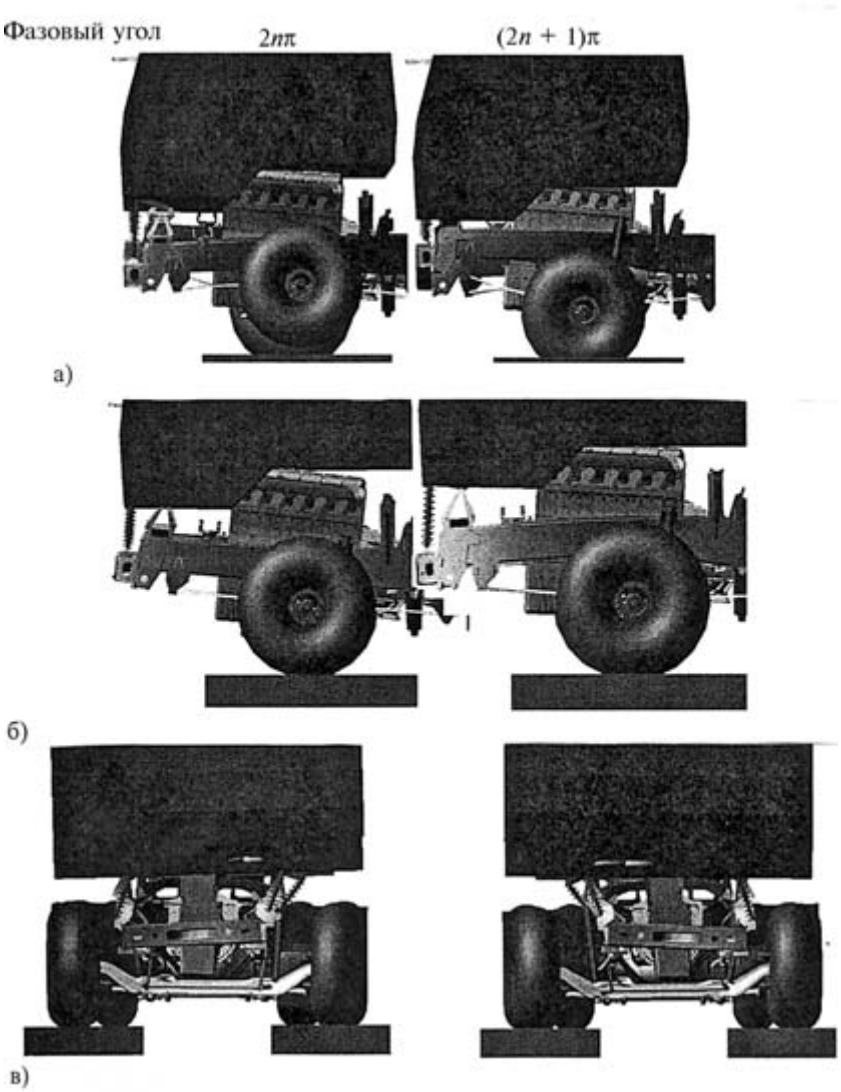

Рис. 3. Собственные колебания, обусловленные податливостью рамы:

а — крутильные колебания передней части рамы с частотой f = 11,4 Гц; б — вертикально-изгибные колебания передней части рамы с частотой f = 27,6 Гц; в — изгибные колебания в горизонтальной плоскости с частотой f = 38,3 Гц

для получения количественной характеристики вибрации.

На основе индикаторной диаграммы двигателя ЯМЗ-650.10 построена зависимость опрокидывающего момента двигателя от угла поворота коленчатого вала, представленная на рис. 4.

Работа двигателя при частоте $n = 700$ мин$^{-1}$ воспроизведена путем задания следующих воздействий:

опрокидывающего момента двигателя (рис. 4);

дисбаланса двигателя $\delta = 84{,}2$ г · см.

Так как на один оборот коленчатого вала приходится три вспышки в цилиндрах, то при работе двигателя с частотой вращения $n = 700$ мин$^{-1}$ создаются колебания с частотой $f = 35$ Гц.

По результатам расчета описанной выше модели определены передаточные функции.

На рис. 5 приведен график зависимости передаточных функций N от частоты возбуждения, из которого видно, что при работе двигателя на частоте 700 мин$^{-1}$ происходит резонанс в передней части автомобиля, и податливость рамы играет определяющую роль в этом явлении.

Для оценки адекватности расчетной модели выполнено сравнение экспериментальных и расчетных данных — на рис. 6 приведены кривые виброускорений на опоре двигателя и полу кабины, из которых видно хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

Убедившись в хорошей адекватности расчетной модели, можно проводить исследования, направленные на уменьшение вибронагруженности рабочего места водителя.

Выделено три возможных направления исследований.

1. Изменение параметров жесткости и демпфирования опор двигателя.

2. Изменение расположения опор двигателя.

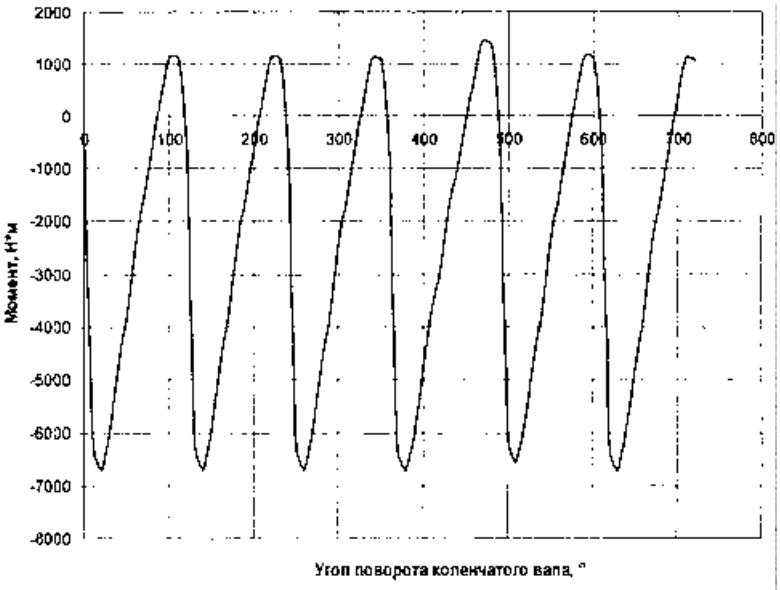

Рис. 4. График опрокидывающего момента двигателя ЯМЗ-650.10

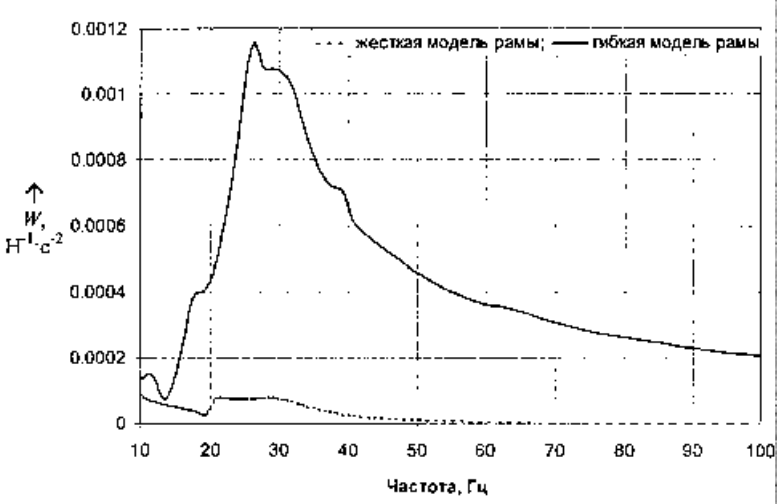

Рис. 5. График зависимости передаточных функций от частоты возбуждения

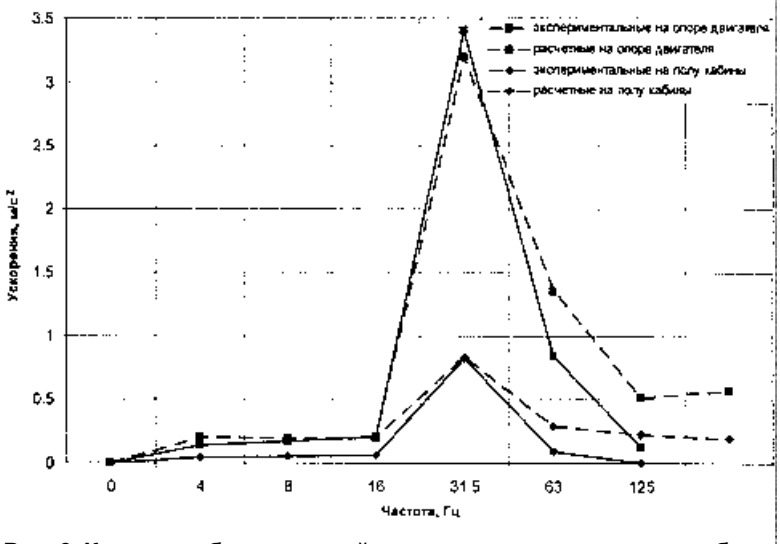

Рис. 6. Кривые виброускорений в характерных точках автомобиля

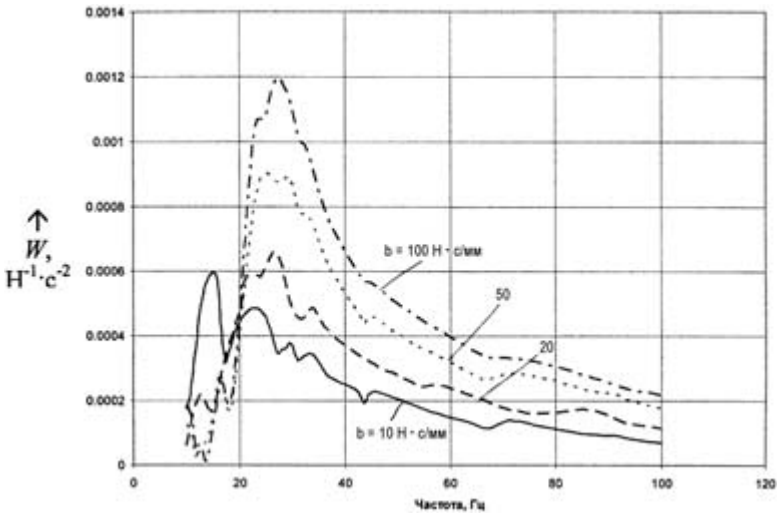

Рис. 7. График передаточных функций при различных значениях коэффициента демпфирования в опорах

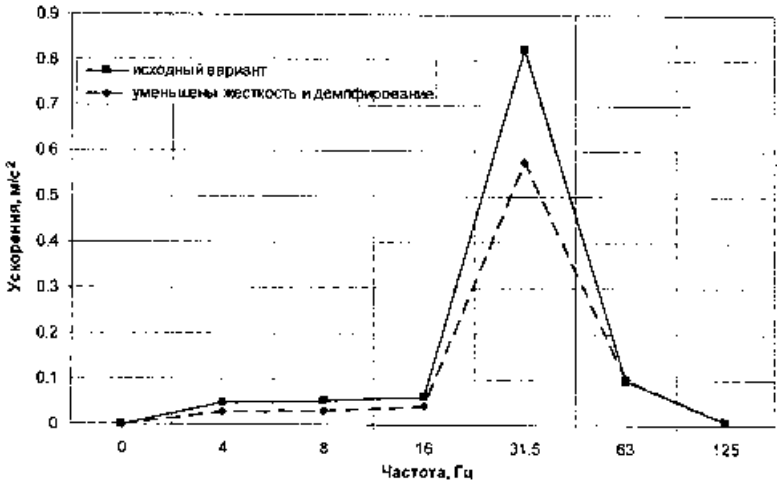

Рис. 8. Кривые виброускорений на полу кабины при уменьшении жесткости и демпфирования в опорах двигателя

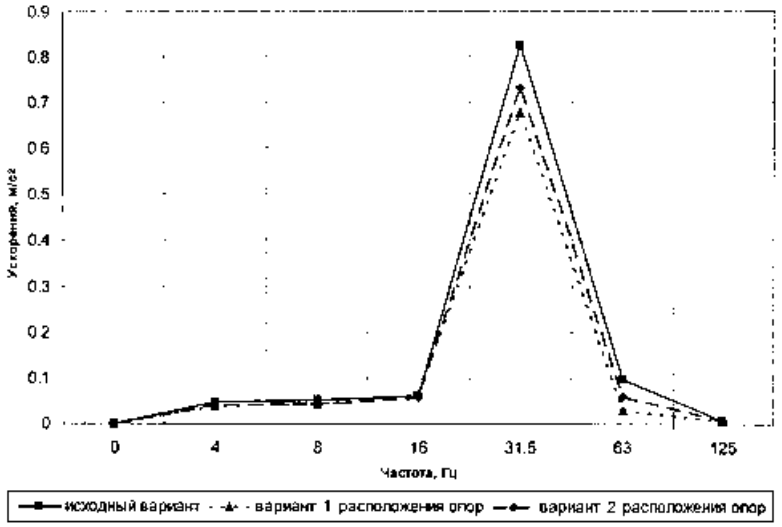

Рис. 9. Кривые виброускорений на полу кабины при различном расположении опор двигателя

3. Конструктивные изменения несущей рамы автомобиля.

На рис. 7 представлены графики передаточных функций при различном демпфировании опор (коэффициент демпфирования исходного варианта $b = 100$ Н · с/мм), из которых хорошо видно, что уменьшение демпфирования может существенно снизить вибронагуженность рабочего места водителя. Это подтверждает и график на рис. 8, где приведены кривые виброускорений на полу кабины для исходного варианта опор и варианта с уменьшенными в 4 раза жесткостью и демпфированием. При уменьшении жесткости и демпфирования в опорах двигателя в 4 раза ускорения уменьшаются на 28 %.

При оценке влияния расположения опор двигателя рассматривались следующие варианты:

вариант 1 — размещение заднего пояса крепления силового агрегата в задней части коробки передач (КП);

вариант 2 — добавление третьего пояса крепления силового агрегата в задней части КП при сохранении двух исходных.

На рис. 9 приведены кривые виброускорений на полу кабины для исходного варианта расположения опор и двух измененных — изменения конструкции подвески силового агрегата путем перемещения опор двигателя и добавления третьего пояса крепления приводят к уменьшению ускорений на полу кабины до 18 %.

При оценке влияния конструкции несущей рамы рассматривались следующие варианты:

вариант 1 — в передней части рамы добавлен противоподкатный брус;

вариант 2 — отсутствует вторая поперечина рамы;

вариант 3 — в передней части рамы добавлена абсолютно жесткая балка, которая соединяет лонжероны (рис. 10).

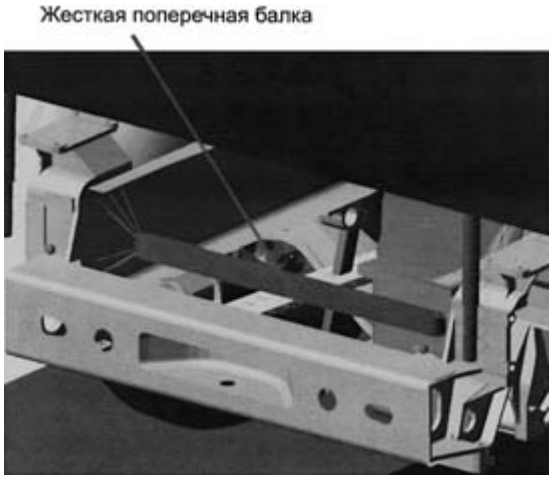

Рис. 10. Установка жесткой поперечной балки в передней части рамы

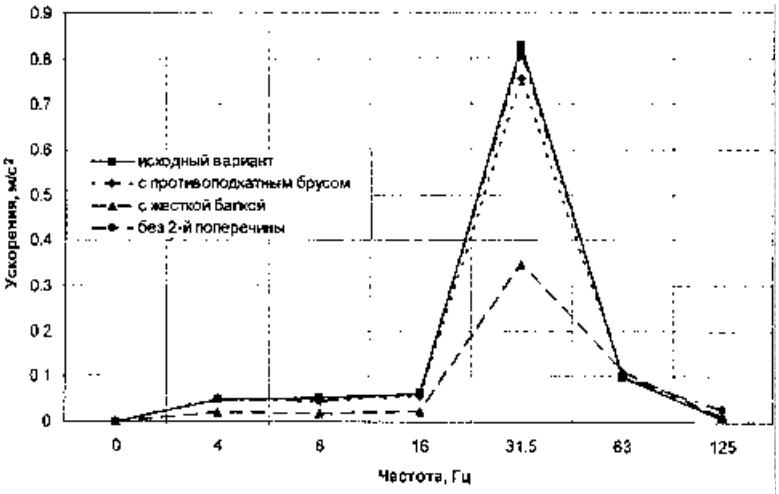

Рис. 11. Кривые виброускорений на полу кабины при изменении конструкции рамы

На рис. 11 приведены кривые виброускорений на полу кабины для вариантов конструкции несущей рамы, откуда видно, что установка противоподкатного бруса на раму автомобиля снижает ускорения на 8,5 %, а установка жесткой балки в передней части рамы приводит к снижению ускорения на полу кабины на 58 %, т. е. более чем в два раза.

Выводы

1. При исследовании вибрации грузового автомобиля, возникающей при работе двигателя на холостом ходу, расчетная модель должна учитывать не только массоинерционные характеристики узлов и агрегатов автомобиля, но и их упругие характеристики, так как в этом случае возникают сложные взаимосвязанные колебания.

2. Расчет автомобиля на холостом ходу двигателя без учета упругих свойств рамы не объясняет повышение вибрации на полу кабины. Введение в расчетную модель упругих свойств рамы дает хорошее согласование экспериментальных и расчетных данных.

3. Показано существенное влияние изменения упругих свойств рамы автомобиля и подвески двигателя на вибрации пола кабины на холостом ходу двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Комплексные** технологии виртуального моделирования и инженерного анализа [Текст]. — М.: Представительство MSC. Software Corporation, 2007. — 44 с.
2. **Вихренко, Д. В.** Совершенствование методов проектирования несущих узлов шасси грузового автомобиля для повышения их прочностных характеристик [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Д. В. Вихренко. — Минск, 2008. —162 с.

НОВОСТИ

Северсталь подписала годовые соглашения с предприятиями автопрома России и ближнего зарубежья

Договоры на поставку продукции Череповецкого металлургического комбината в 2010 г. подписаны с АВТОВАЗом, ГАЗом, УАЗом (входит в группу "Соллерс") и GM-Узбекистан.

По словам директора по сбыту ЧерМК "Северсталь" Дмитрия Горошкова, в текущем году использована практика долгосрочных соглашений с фиксацией объемов и цен на планируемый период. В настоящее время это одна из наиболее эффективных форм совместной работы с автозаводами, которая отвечает всем условиям Программы по поддержке отечественного автопрома.

Кроме того, с "Группой ГАЗ" дополнительно заключено соглашение о попозиционном закреплении отдельных видов деталей кузова за прокатом "Северстали", реализуемое в рамках существующей у автопроизводителя программы склад-магазин (подразумевает планирование производства от сляба до детали кузова автомобиля).

(Окончание на с. 44)

УДК
538.971.001.8:
621.793.74

А. Б. Коберниченко,
канд. техн. наук,
проф.,
В. В. Алмазов,
инж.,
Г. В. Куприянов,
канд. техн. наук,
А. В. Шкодкин,
Ф. С. Наумкин,
Д. В. Скопцов,
инж-ры;
Рязанский
военный
автомоб. ин-т
(г. Рязань)
E-mail:
almazov2901@
yandex.ru

Технологические факторы холодного газодинамического напыления при восстановлении стальных деталей автомобилей

Рассмотрено влияние технологических факторов на адгезионную прочность газодинамического покрытия на стальной основе.

Ключевые слова: *технологические факторы, адгезионная прочность, стальные детали.*

По данным исследований [1] в условиях боевых действий войск одними из наиболее характерных повреждений машин являются пробоины и трещины трубопроводов и баков, вызывающие их разгерметизацию.

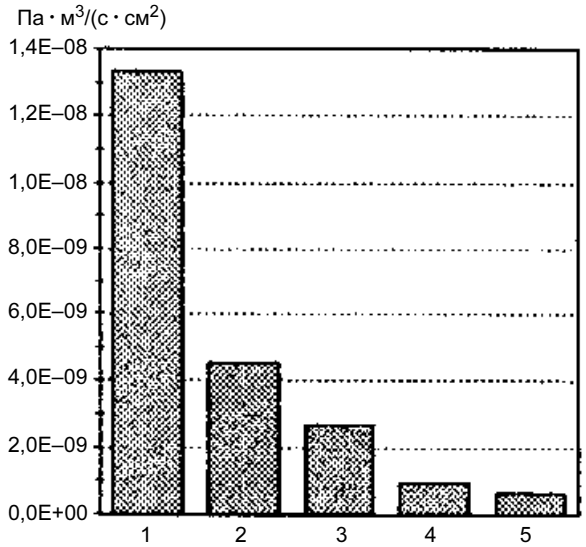

Рис. 1. Газовая проницаемость в вакууме стального образца:

1 — без покрытия, 2 — с медным покрытием, 3 — с алюминиевым покрытием, 4 — с медным обработанным покрытием, 5 — с алюминиевым обработанным покрытием

Анализ способов восстановления герметичности трубопроводов и баков в условиях войскового ремонта показывает, что сварка и пайка не достаточно эффективны. Основные причины этого — высокая энергоемкость и трудоемкость процесса, большие требования к подготовке специалиста. В этой связи вопросы внедрения в подвижных и стационарных ремонтных органах альтернативных, низкоэнергоемких, высокопроизводительных способов восстановления трубопроводов, обеспечивающих высокую безотказность машин и механизмов, сегодня актуальны.

Низкотемпературное воздействие на деталь, высокая плотность и низкая пористость покрытия открывают возможность применения холодного газодинамического напыления для герметизации повреждений трубопроводов и баков. Однако не редко при устранении повреждений на стальных поверхностях возникают отслаивания или разрушения покрытия, что приводит к разгерметизации. Причина проблемы заключается в том, что еще не до конца исследованы условия формирования газодинамического покрытия на стальной основе и технологические факторы, влияющие на этот процесс. Ниже рассмотрены некоторые подходы к решению вопроса по устранению неисправностей холодным газодинамическим напылением (ХГДН) [2].

На рис. 1 представлены результаты исследования газовой проницаемости в вакууме, полученные в лаборатории вакуумных систем Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна). Показана

газовая проницаемость стального образца: 1 — без покрытия, 2 — с медным покрытием, 3 — с алюминиевым покрытием, 4 — с медным обработанным покрытием, 5 — с алюминиевым обработанным покрытием. Доказано, что при применении алюминиевых и медных покрытий существенно уменьшается газовая проницаемость в вакууме по сравнению с необработанной стальной поверхностью. Проведение дополнительной механической обработки поверхности после напыления также в несколько раз понижает газовую проницаемость испытываемого образца и обеспечивает необходимую герметичность.

Наиболее плотное и герметичное покрытие образуется при размещении сопла перпендикулярно поверхности напыления. Однако у любого дефекта на плоском основании внутренние стенки повреждения находятся под углом к поверхности подложки. Поэтому при любом размещении сопла оно всегда будет направлено под некоторым углом к стенкам дефекта, что приводит к уменьшению адгезионной прочности напыленного слоя. Это, очевидно, связано с уменьшением нормальной скорости частицы во время ее столкновения с подложкой и увеличением тангенциальной скорости, вызывающей явление рикошета.

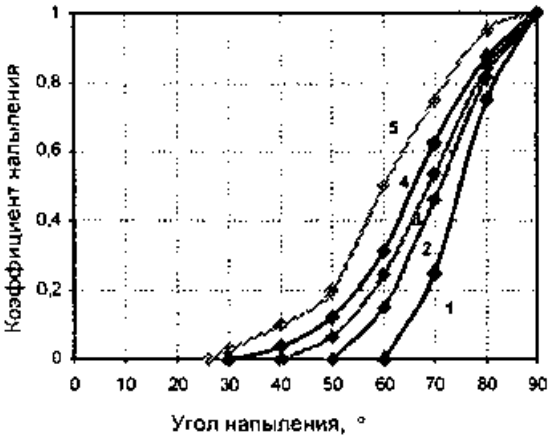

Рис. 2. Зависимость эффективности коэффициента напыления частиц от угла реактивной струи к поверхности основания (подложки) при различных температурах подогрева:

1 — 500 К, 2 — 600 К, 3 — 700 К, 4 — 800 К, 5 — 900 К

Зависимость эффективности коэффициента напыления частиц от угла напыления к поверхности основания довольно значима (рис. 2). На медный образец наносилось покрытие под различными углами и при разном подогреве рабочего газа [3]. При изменении угла менее 70° резко снижается эффективность осаждения частиц на поверхности образца, следовательно, основной диапазон для угла напыления 70—90°.

При нанесении газодинамического покрытия на подложку с трещиной или отверстием размером более 0,1 мм вокруг дефекта всегда получается незаполненная область. При увеличении толщины напыляемой поверхности вокруг повреждения образуются каньоны и кратеры, и при достижении критического угла склонов вместо устранения дефекта происходит их рост по периметру.

Если можно направить поток частиц под углом, близким к 90° относительно подложки, а его скорость увеличить в 1,5—2 раза по сравнению с оптимальной [3], некоторые частицы будут закрепляться на стенке дефекта, что приведет вначале к частичному, а потом и к полному устранению повреждения. Но применение данного способа ведет к значительному росту энергозатрат и увеличению удельного расхода используемого порошка. Для оптимизации данных параметров необходимо использовать многокомпонентный состав порошка, основу которого составляют легкоплавкие металлы. При применении таких материалов вначале на поверхности поврежденного участка закрепляется более мягкий металл, образуя небольшой переходный слой, а на его основе — остальные компоненты, тем самым образуя покрытие с заданными свойствами.

Для того чтобы подтвердить данное предположение, на стальную поверх-

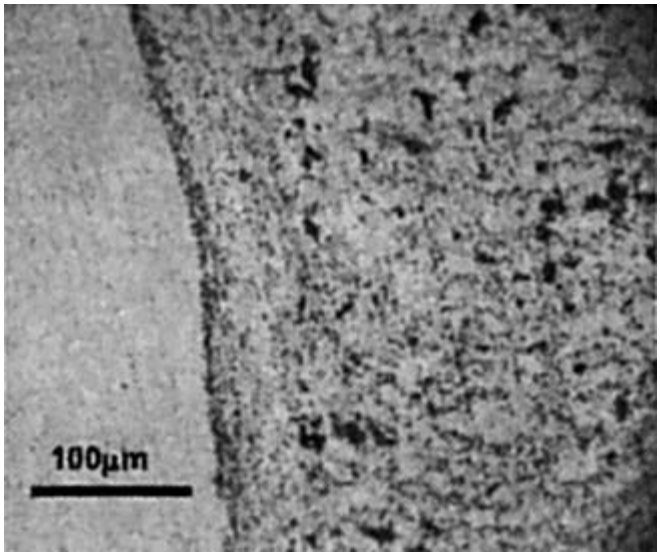

Рис. 3. Граница раздела между покрытием и основой при относительно малых углах напыления

ность было нанесено покрытие из порошка, в состав которого вошли цинк (Zn), медь (Cu) и электрокорунд ($A1_2O_3$), при относительно малом угле и оптимальной скорости напыления (рис. 3). В начальной стадии на границе раздела присутствует только цинк. Это происходит вследствие того, что он более мягкий материал, чем медь и электрокорунд, а следовательно, меньше подвержен эффекту рикошета при малых углах. Затем, по мере нарастания поверхности, медь и электрокорунд начинают закрепляться на цинке и образуют слой из равномерного материала, что обеспечивает необходимые параметры нанесенного покрытия.

На основании перечисленных выше факторов следует, что использование легкоплавкого металла (цинка) как одного из компонентов порошковой смеси позволяет устранять повреждения при относительно малом угле и скорости напыления и создавать покрытие с необходимыми свойствами, обеспечивающими герметичность. В то же время необходимо рассматривать новые технологии по созданию альтернативных составов порошков (размер фракций значительно меньше 50 мкм), которые значительно улучшат свойства покрытия.

Таким образом, одними из основных технологических факторов, влияющих на адгезионную прочность и обеспечивающих рациональный режим напыления, целесообразно принять: угол нанесения покрытия на основу, химический состав порошка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Силаев, В. Г.** Влияние технического состояния агрегатов АТ на структуру и эффективность производства агрегатоpемонтных частей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. Г. Силаев. — 1986. — 223 с.
2. **Shkodkin A., Kashirin A., Klyuev O., Buzdygar T.** The basic principles of DYMET technology, Building on 100 Years of Success: Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference (Ed.) B. R. Marple, M. M. Hyland, Y. C. Lau, R. S. Lima and J. Voyer. — ASM Intwrnational, 2006. — P. 141—145.
3. **Шкодкин, А. В.** Определение параметров процесса газодинамического напыления металлизацией: международный салон сварки [Текст] / А. В. Шкошкин, А. И. Каширин. — 2006. — В. 20. — Н2. — С. 161—164.

(По материалам 11-й Международной научно-практической конференции, 14—17 апреля 2009 г.)

НОВОСТИ

(Начало см. на с. 41)

По словам Д. Горошкова, подобные договоренности значимы как для клиентов одного из наших приоритетных секторов рынка сбыта, так и для ЧерМК "Северсталь". Их наличие позволяет более четко планировать производство, что в конечном итоге положительно сказывается на эффективности работы предприятия.

Справочно: В 2009 г. ЧерМК "Северсталь" предприятиям российского автопрома отгружено 300 тыс т проката (на 47 % меньше по отношению к 2008 г.). Между тем, доля череповецкого проката в общем объеме потребления предприятий российского автопрома осталась неизменной — более 30 %. Предприятия, которые проводят интегрированную оценку поставщика (ВАЗ, ГАЗ, КАМАЗ), присудили ЧерМК "Северсталь" по итогам 4-го квартала и всего 2009 г. статус надежного поставщика металлопродукции для автомобильной отрасли.

(По материалам ОАО "Северсталь")

УДК 629.113

В. Н. Козловский,
Р. А. Малеев,
канд-ты техн. наук
E-mail: kozlovskaya@tltsu.ru

Обоснование проблемы обеспечения качества и надежности электрооборудования в составе гибридной силовой установки автомобиля

Представлены результаты исследования показателей качества основных элементов электрооборудования автомобиля в составе гибридной силовой установки.

Ключевые слова: *электрооборудование, качество; надежность.*

Одним из определяющих факторов конкурентоспособности продукции на рынке является ее качество. Современный автомобиль вобрал в себя все последние достижения науки и техники. Все новые и новые элементы и технические устройства внедряются в его конструкцию. Но проблема обеспечения качества и надежности автомобиля и входящих в него систем остается актуальной, вот почему при разработке новых элементов их качеству следует уделять пристальное внимание. Этот вывод подтверждает известное в области управления качеством правило М. Розно о десятикратном росте затрат при рассмотрении общей системы затрат. По нему экономия тем больше, чем раньше устанавливаются, устраняются или вообще избегаются дефекты в ходе выполняемых работ. Другими словами: одного и того же полезного эффекта от изделия можно достичь, затрачивая 100 руб. на этапе эксплуатации или 10 руб. на этапе производства, или 1 руб. на этапе его проектирования.

Надежность отечественной автомобильной техники во многом зависит от надежности системы электрооборудования вообще и от входящих в ее состав электромеханических преобразователей (ЭП) в частности. Система электрооборудования автомобиля — это область бурно развивающаяся. С внедрением электронных систем управления на автотранспорте появилась возможность для более эффективного решения задач по энергообеспечению потребителей, пуску двигателя внутреннего сгорания (ДВС), оптимизации рулевого управления и т. д.

Одним из общепризнанных направлений совершенствования автомобиля сегодня является внедрение гибридной силовой установки в его конструкцию. Компании Toyota, Suzuki, Mitsubishi все более активно выводят на рынок новые разработки автомобилей с гибридными силовыми установками.

Гибридная силовая установка автомобиля представляет собой сочетание в качестве основного источника энергии двигателя ДВС, работающего в режиме минимально возможного удельного расхода топлива, и электрохимического накопителя электроэнергии. К предпосылкам создания автомобилей с гибридными силовыми установками следует отнести ухудшение экологической обстановки, обусловленное вредным воздействием автотранспорта, и необходимость улучшения топливной экономичности.

Все варианты гибридных силовых установок (ГСУ) можно разделить на две группы — последовательной и параллельной схем.

В первом случае ДВС отдает энергию только генератору, который либо питает тяговый электродвигатель, либо дополнительно заряжает накопитель энергии. Если энергии генератора недостаточно для обеспечения необходимого режима работы автомобиля, тяговый электродвигатель получает дополнительную энергию от накопителя энергии, а при избытке энергии отдает избыточную энергию накопителю.

Во втором случае ДВС через соответствующую механическую трансмиссию отдает энергию автомобилю и через специальную систему отбора мощности может при избытке энергии через генератор питать накопитель, а при дефиците энергии через эту же систему может получать дополнительную энергию от накопителя и элементы электротрансмиссии.

В качестве основных элементов электрооборудования систем с гибридной силовой можно рассматривать: стартер-генераторную установку (СГУ) и (или) тяговый электродвигатель, обеспечивающий привод колес. В основе конструкции обоих устройств — электромеханические преобразователи, стабильность технических характеристик которых напрямую зависит от качества технологического процесса производства. Таким образом, становится понятным интерес к проблеме обеспечения качества и надежности таких устройств.

СГУ объединяет в себе элементы, бывшие до сих пор отдельными, — стартер, генератор, единую комплексную систему с электронным регулированием, а также в отдельных конструкциях двухдисковый маховик. В соответствии с большинством проектов установка должна размещаться на коленчатом валу двигателя в районе маховика. Ресурс установки должен быть сравним с ресурсом самого автомобиля. Установка должна быть закрыта от проникновения посторонних предметов, пыли, воды, топлива и других жидкостей, применяемых в автомобиле.

Перспективность применения СГУ заключается в том, что в данном случае решается ряд проблем, связанных с совершенствованием автомобиля: в результате упразднения ременного привода появляется возможность свободного размещения вспомогательных механизмов двигателя; расход топлива должен снизиться благодаря функции пуска и остановки двигателя в городском цикле; если двигатель находится в режиме холостого хода, установка выключает его, как только водитель дотрагивается до рычага переключения передач происходит пуск двигателя; снижается выброс вредных веществ за счет того, что стартер-генератор обеспечивает поддержку пуска, в результате чего двигатель пускается при частоте вращения режима холостого хода; снижается уровень механического шума вследствие электромагнитной передачи момента.

Сегодня известна конструкция стартер-генераторной установки, базирующаяся на основе машины индукторного типа (ИМ). Конструкция данной СГУ предложена в виде обращенной машины, т. е. ротор вращается снаружи. Ротор с короткозамкнутой обмоткой, с литой алюминиевой клеткой.

В качестве тягового электродвигателя во многих конструкциях гибридной силовой установки предусматривается применение двигателя постоянного тока с электромагнитным возбуждением.

Ниже изложены результаты исследования влияния стабильности размерных параметров активной зоны тягового электродвигателя и стартер-генератора ГСУ на технические характеристики устройств.

На первом этапе исследования проведены поиск и оценка значимости ключевых параметров активной зоны. С помощью количественной оценки влияния погрешностей изготовления размерных параметров на технические характеристики вскрыты главные группы размеров активной зоны. В качестве технических характеристик рассматривались характеристика холостого хода и электромеханические характеристики. Установлено, что наиболее существенное влияние на стабильность характеристик тягового электродвигателя оказывают главные размеры: внутренний диаметр полюсов, наружный диаметр якоря, длина пакета якоря, длина корпуса, толщина стенки корпуса. Группа параметров активной зоны стартер-генератора, оказывающих значимое влияние на формирование технических характеристик, включает: наружный диаметр сердечника статора, внутренний диаметр сердечника ротора, внутренний диаметр сердечника статора, наружный диаметр листов ротора, длину сердечника статора, длину сердечника пакета ротора.

Далее с использованием методов компьютерного моделирования были построены структуры, реализующие связь между входными размерными и выходными электромагнитными параметрами рассматриваемых устройств. В структуре моделей организована работа генераторов случайных чисел, реализующих нормальный закон распределения размерных параметров активной зоны для учета влияния технологических погрешностей на стабильность технических характеристик устройств.

Результаты моделирования подтверждают правильность первичных выводов о высокой значимости стабильности размерных параметров активной зоны устройств при формировании выходных технических характеристик стартер-генератора и тягового электродвигателя.

На рис. 1 и 2 представлены гистограммы распределения главных размеров активной зоны уст-

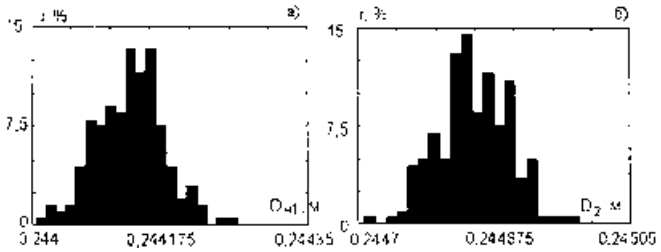

Рис. 1. Гистограммы распределения наружного диаметра $D_{н1}$ сердечника статора (а) и внутреннего диаметра $D_{н2}$ сердечника ротора (б) СГУ:
t — распределение, %

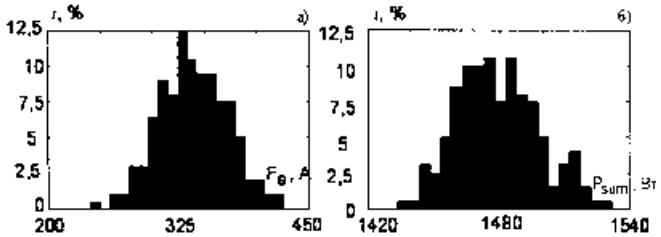

Рис. 3. Гистограммы распределения суммарной магнитодвижущей силы на холостом ходу ($F_в$) и общих потерь (P_{sum}) СГУ

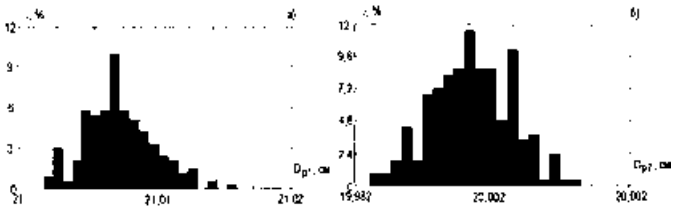

Рис. 2. Гистограммы распределения внутреннего диаметра $D_{р1}$ полюсов (а) и наружного диаметра $D_{р2}$ якоря (б) тягового электродвигателя

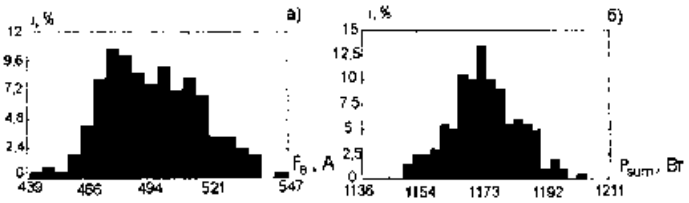

Рис. 4. Гистограммы распределения суммарной магнитодвижущей силы на холостом ходу ($F_в$) и общих потерь (P_{sum}) тягового электродвигателя

ройств, образующих рабочий воздушный зазор, по нормальному закону распределения.

На рис. 3 и 4 приведены гистограммы стабильности технических характеристик СГУ и тягового электродвигателя при изменении главных размеров активной зоны в пределах поля допуска.

Гистограммы распределения наружного диаметра сердечника статора и внутреннего диаметра сердечника ротора СГУ представлены на рис. 1.

Анализ влияния разбросов размерных параметров активной зоны СГУ и тягового электродвигателя на характеристики холостого хода (рис. 3, а и 4, а) подтверждает наиболее существенное влияние на характеристики размерных параметров, образующих рабочий воздушный зазор. Разброс суммарных потерь (P_{sum}) СГУ от минимального до максимального значения составляет 6,53 % (рис. 3, б).

Анализ результатов моделирования показывает, что изменение границ разброса диаметра внутренних полюсов и наружного диаметра якоря тягового электродвигателя в пределах установленных требованиями ТУ соответствует разбросу технических характеристик на уровне 15 %.

При ухудшении показателей стабильности размерных параметров активной зоны рассматриваемых устройств происходит существенный рост разброса границ распределения технических характеристик, что повышает риски изготовления продукции с несоответствующими качеством и надежностью. Поэтому очень важно еще на этапе проектирования основных элементов электрооборудования обеспечить решение проблемы стабилизации технических характеристик уменьшением разброса главных размеров активной зоны.

Вывод. Результаты исследования тягового электродвигателя и стартер-генератора ГСУ показывают, что при разработке систем с гибридной силовой установкой необходимо учитывать факторы нестабильности технологических процессов производства основного электрооборудования с целью обеспечения высоких показателей качества и надежности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козловский, В. Н.** Компьютерное моделирование стартер-генератора легкового автомобиля [Текст] / В. Н. Козловский, В. Е. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2009. — № 4. — С. 14—16.
2. **Козловский, В. Н.** Поиск и оценка значимости ключевых параметров активной зоны типовых конструкций генераторной установки [Текст] / В. Н. Козловский, Р. А. Малеев // Грузовик. — 2009. — № 1. — С. 41—43.

Contents

2 *Markov V. A., D. Sc. (Eng.), professor of Heat Physics department of the Bauman Moscow State Technical University., Shuster A. Yu., Post-graduate of "Heat Physics" department of the Bauman Moscow State Technical University, Devyanin S. N., D. Sc. (Eng.), head of "Tractors and Automobiles" department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n. a. V. P. Goryachkin.* Choice of shape and size of combustion chamber for diesel engine running on biofuel mixture
Characteristic features of fuel spraying process in a diesel engine running on rapeseed oil biofuels have been considered. The necessity of coordination between the lengths of the streams of fuel being sprayed and the combustion chamber geometrical size has been shown. Calculation research for diesel engine D-245.12C with combustion chamber of various shape and size has been carried out.
Keywords: diesel engine, combustion chamber, diesel fuel, rapeseed oil, biofuel mixture.

13 *Rudoy A. P., Govtianskiy, Mikael'an S. P.* Possible technologies of restoration of details, both from the point of view of equipment manufacturing, and from the point of view of materials which use in the course of restoration are considered.
The developed base recommendations for restoration of the worn out details, depending on conditions of their operation. Possible methods of their restoration are considered. The analysis of technical and economic advantages of any of these methods and a choice sprayed a material is made. Results of the analysis of influence of modes of a dusting on quality indicators of a covering and operational results of the game of the restored details are stated.
Keywords: spraying, electric arc, restoration, city electro-and auto-transports.

16 *Maksimenko A. N., Kutuzov V. V., Sidorov A. N.* Influence season and operating time from the operation beginning on productivity of construction equipment and the cost price of the mechanized works
In article influence of a season and an operating time from the operation beginning on productivity and cost prices of the mechanised works of loaders is considered by load-carrying capacity of 3 tons. Researches on an establishment of mathematical dependence of change of annual production rate depending on operating efficiency and an intrareplaceable operating mode are resulted.
Keywords: exploitation, productivity, cost.

22 *Zasuha V. P., the managing director of OOO "Engineering introductory center Intekhservice", Orenburg; Vorotilova N. M., the senior instructor of the department of mathematical cybernetics of the Orenburg state university; Kalimullin R. F., candidate in technical sciences, docent, the docent of the department of truck transport, the director of scientific research center "New transport technologies" of the Orenburg state university.* Expert estimation of effectiveness in the action of repair-regenerative preparations for the automobiles
In clause development cycles and approbations or a technique от an estimation of efficiency of action of repair-regenerative preparations for cars with use of a method of not precise logic are resulted. The estimation is spent on value of a rating of efficiency of the preparation defined in view of weights of importance of subjective parameters shown in operation of quality of the car. The estimation of efficiency of action of one of preparations for the engine and units of transmission is lead. Laws of change of an estimated parameter from run of the car are established. A technique application for an estimation of quality of technologies and services not folding service of cars.
Keywords: Not folding service, protectively-regenerative preparations, change of quality of work of the unit, value judgment, not precise logic.

28 *Chichko A. N., Doctor of science, Zakharik J. M., Doctor of science, Yatckevich J. V., Doctor of philosophy, Matcushinetc T. V., Doctor of philosophy, Chichko O. I. Doctor of philosophy.* Neural algorithms in motor industry
Are offered neironetwork algorithms, allowing to estimate degree of similarity of details on spatial distribution of material. Possibility of application of developed algorithms for decision of problem of primary choice casting systems liquid on design stage is shown.
Keywords: algorithm, configuration, element, file, format, geometry, network, space, system.

37 *Zakharik A. M., Doctor of philosophy, Korsakov W. W., Ruhtishel O. S., Doctors of philosophy, Krutitskiy S. V., Sidorenko D. N.* Estimation vibration load of unit car by account of elastic properties of its frame
Studies on the truck driver workplace vibration calculation at engine work idling are considered. The general procedure of vibration calculation in the environment of MSC. ADAMS is described. Comparison of results of calculation of models with flexible and rigid frames and experimental data is executed. The estimation of such constructive actions, as change of rigidity and an arrangement of engine supports, and also rigidity of a frame on vibration in a cabin is executed.
Keywords: engine, frame, modeling, truck, vibration.

42 *Kobernichenko A. B., Almazov V. V., Kuprianov G. V., Shkodkin A. V., Naumkin F. S., Skoptsov D. V.* Technological factors cool of gas-dynamic coating when recovering the steel details of the cars
Introduces the results of the technologic factors influence on the adhesional strength of gas-dynamic coating in the steel substrate.
Keywords: technological factors, adhesional strength, steel details.

45 *Kozlowski V., Maleev R., candidates of technical sciences.* Motivation of problem of ensuring a quality and reliability of electroequipping a car in composition by hybrid power installation
In the article are present results of quality factor studies, main elements of electroequipping a car in the composition of hybrid power installation.
Keywords: electroequipment; quality; reliability.

Художественный редактор *Т. Н. Галицына.* Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Т. В. Пчелкина*

Сдано в набор 22.12.2009. Подписано в печать 29.01.2010. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5.88. Уч.-изд. л. 7,26. Заказ 636.

Отпечатано в ЗАО "Компания ИМАДЖВЕЙВ". 119607, г. Москва, Мичуринский проспект, д. 27, стр. 2