ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва "Машиностроение"

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 1 • январь • 2007

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113/.115

Легковое автомобилестроение и экономика России

Канд. эконом. наук А.Т. ХАДЫКОВ

Восточно-Сибирский ГТУ

За последние шесть лет средний ежегодный рост ВВП, по данным государственной статистики, составил ~6,72 %; размер среднемесячной начисленной заработной платы в феврале 2006 г. — 9106 руб. Реальная же заработная плата за период февраль 2005—февраль 2006 г. возросла на 10,1 %.

Такое безусловное улучшение социально-экономического положения не может не сказаться на темпах автомобилизации населения. Например, в 2005 г. было продано 1450 тыс. новых легковых автомобилей, что на 11 % больше, чем в 2004 г. Правда, настораживает структура продаж: если в 2004 г. доля продаж легковых автомобилей российского производства составила 68,3 %, то в 2005 г. она сократилась до 57 %. Другими словами, зарубежные фирмы довольно уверенно завоевывают российский рынок. Хотя средняя цена продаваемого на нем нового импортного автомобиля составляет в настоящее время ~25 тыс. амер. долл.

Причин тому, по мнению аналитиков, три: рост российской экономики, развитие потребительского кредитования и низкий уровень автомобилизации населения (160 автомобилей на 1 тыс. чел., тогда как в странах Западной Европы — в 2—3 раза больше, т. е. 320—500 шт.). Рост российской экономики, по прогнозам ведущих западных мировых институтов, в ближайшие годы продолжится. И если уровень средней заработной платы будет расти не меньшими темпами, чем в последние годы, то возникает вопрос: что произойдет в таком случае со спросом на отечественные легковые автомобили на внутреннем рынке?

Чтобы ответить на него, с помощью методики расчета аннуитетных платежей оценим, кредит какого размера может погасить заемщик, если ежемесячная сумма платежа составит 50 % его дохода.

Результаты такого расчета по различным кредитным схемам без первоначального взноса приведены в таблице. Из нее следует: при месячном доходе 1000 амер. долл. платежеспособность заемщика по долгосрочным кредитам превысит 20 тыс. долл. То есть он может позволить себе приобрести автомобиль в той ценовой нише, в которой отечественных автомобилей нет. Иначе говоря, купить автомобиль зарубежного производства.

Однако людей с доходом 1000 амер. долл. в месяц в России пока не так уж и много, и очень сомнительно, что их число будет расти быстро. Достаточно напомнить: средняя заработная плата в феврале 2006 г. рав-

Размер заработной платы заемщика, амер. долл.	Размеры кредита, амер. долл., при процентной ставке, %, и сроках погашения, лет							
	5; 3	5; 5	7; 3	7; 5	8; 3	8; 5	9; 3	9; 5
300	5004,86	7948,61	4858,00	7575,3	4786,77	7397,77	4717,02	7226,00
500	8341,43	13 247,68	8096,62	12 625,5	7977,95	12 329,61	7861,70	12 043,34
800	13 346,28	21 196,30	12 954,60	20 200,8	12 764,72	19 727,37	12 578,72	19 269,35
1000	166 682,85	26 495,36	16 193,23	25 251,0	15 955,90	24 659,21	15 723,40	24 086,69

©ISSN 0005-2337. Издательство "Машиностроение", "Автомобильная промышленность", 2007 г.

нялась 9106 руб., или 329 амер. долл. То есть платежеспособность среднего заемщика, взявшего кредит сроком на пять лет, при 5—9 % годовых не превышает 7—8 тыс. амер. долл. В таком случае он может рассчитывать не более, чем, скажем, на автомобиль ВАЗ.

Таким образом, даже с учетом роста доходов населения и через 10—15 лет будут нужны автомобили не только в ценовой нише 20—25 тыс. амер. долл., но и в ценовой нише 5—7 тыс. долл.

Конечно, соотношение между этими нишами будет меняться в пользу первой из них. Суммарный же объем рынка (спроса) в обозримой перспективе останется весьма значительным и непрерывно увеличивающимся. Прежде всего потому, что, если судить по опыту и статистике развитых стран Запада, России, чтобы с точки зрения качества жизни людей выйти на средний их уровень, нужно иметь не нынешние 25 млн автомобилей, а 70—80 млн. Во-вторых, не любых, а автомобилей с гораздо меньшим, чем в настоящее время, средним "возрастом". Так как главным фактором, определяющим возрастную структуру автомобильного парка, становится фактор экологический. И правительство видит данную проблему, в связи с чем разработало программу внедрения европейских норм по токсичности отработавших газов реализуемых на территории России новых автомобилей. Но этого при увеличении автомобильного парка более чем в 3 раза будет явно недостаточно. Придется предъявлять европейские нормы и к автомобилям, находящимся в эксплуатации.

Наконец, нельзя не учитывать и изменения психологии среднестатистического потребителя: при существенном улучшении его материального положения для него все большее значение будет иметь фактор "престижность". (Именно этим во многом объясняются уже сейчас имеющие место проблемы со сбытом, к примеру, автомобилей ГАЗ и "Иж".)

Расчеты показывают: если прогнозы сбудутся, то ежегодная потребность России в новых автомобилях даже в ближайшие годы может достичь 7—8 млн шт. Однако понятно, что при сохранении сложившихся тенденций отечественная автомобильная промышленность в условиях жесткой конкуренции со стороны импортных автомобилей в лучшем случае сможет реализовать 1—1,5 млн автомобилей в год, т. е. заполнить ~15—20 % прогнозной емкости российского автомобильного рынка.

Но "природа не терпит пустоты". Оставшиеся 80—85 % заполнят фирмы западных стран. Что крайне опасно. И не только с точки зрения политических проблем. Но, что не менее важно, проблем экономических. Ведь импорт автомобилей в таких объемах (как и любых других изделий, впрочем) — движение к отрицательному внешнеторговому балансу страны, утечке валюты за рубеж, резкому повышению курса мировых валют по отношению к рублю. Со всеми вытекающими отсюда последствиями для стабильности социально-экономической ситуации в обществе.

Россия не может позволить себе такого. Поэтому принятое правительством и уже находящееся в стадии реализации решение о расширении объемов производства на ее территории автомобилей зарубежных фирм с этой точки зрения следует считать правильным: оно позволяет удовлетворить внутренний спрос на автомобили и сохранить внешнеторговый баланс положительным.

Предприятия, реализующие данную идею, уже есть (в Москве, Калининграде и т. д.). Предполагается, что к 2008 г. их число увеличится до 10—15, и они станут производить ~500 тыс. автомобилей в год.

Но все они — лишь сборочные, из-за чего численность занятых на них работников оказывается в 4—5 раз меньше, чем на традиционных российских автозаводах: им не нужны большие конструкторские, технологические и другие службы. То есть, повышая степень удовлетворения рынка, сборочные предприятия начисто убивают интеллектуальный потенциал отрасли, отбрасывают его на уровень конца 1920-х годов.

Говорят, что в Россию поступят новые технологии, оборудование и т. п. Да, конечно, но только технологии сборки. И не больше. Которым, вообще говоря, не нужны ни наши технологические изыски, ни отраслевая наука в целом. Так с этой точки зрения решение правительства просто опасное.

Утверждают и то, что организация сборочного производства зарубежных автомобилей "подтолкнет" развитие в России выпуска комплектующих и запасных частей, создаст новые рабочие места и т. п. (Кстати, в "Концепции развития автомобильной промышленности России" записано, что до 50 % потребностей в таких изделиях сборочные предприятия должны удовлетворять за счет их изготовления на территории России.)

Теоретически все правильно. Но на практике картина совершенно другая: местные производители автокомпонентов к этому не готовы. Например, даже ВАЗ значительную часть комплектующих для своих моделей покупает за рубежом. Еще хуже с этой точки зрения обстоят дела на автозаводах, специализирующихся на сборке зарубежных моделей. Типичный пример: по состоянию на 1 января 2004 г. объем импорта в общем объеме поставок комплектующих и расходных материалов на автозавод в г. Всеволжске составил 90—95 %. Примерно такая же ситуация с размерами поставок импортных комплектующих прослеживается и на остальных сборочных заводах.

Причина, здесь, разумеется, не в каких-то злых умыслах зарубежных фирм, а в неудовлетворительном состоянии отечественных предприятий машиностроения и металлообработки: за годы реформ объемы промышленного производства на них сократились, если судить по официальным данным, в несколько раз, а доля машиностроения в выпуске промышленной продукции уменьшилась до 20 %. (В Японии, например, этот показатель равен 50—52 %, в Германии и Швеции — 42—48, во Франции и США — 38—40 %.) Кроме того, в развитых, т. е. с долей машиностроительной продукции 35—50 %, странах большинство отрас-

лей обновляет технологическое оборудование каждые 7—10 лет, совершая тем самым очередной скачок в технологическом развитии.

В России данный показатель, по тем же официальным данным, в 1,5—2 раза ниже. Организовывать же собственное производство комплектующих на нашей территории зарубежным фирмам невыгодно: объемы сборки их автомобилей не превышают, как правило, 20—40 тыс. шт. в год.

Таким образом, образовался "клубок" противоречий между потребностями и возможностями производителей отечественных комплектующих и зарубежных фирм. Нам нужна локализация производства комплектующих и запасных частей для зарубежных автомобилей, собираемых на территории России, поскольку она позволяет снизить (на ~15 %) розничные цены на собираемые автомобили зарубежных фирм; из средней стоимости автомобилей на утечку капитала из страны в этом случае приходится в основном только чистая прибыль и стоимость комплектующих, полученных из-за рубежа. Зарубежным же фирмам это не нужно. Отсюда вывод: ставка только на сборку импортных автомобилей в России для ее экономики неприемлема. Напротив, развитие собственной автомобильной промышленности способно дать не только существенную экономию финансовых средств, но и создать, как отмечалось выше, в 4—5 раз больше новых рабочих мест за счет осуществления полного цикла производства, чего, по определению, не может дать чистая сборка.

Но здесь тоже есть проблема: отечественное автомобилестроение пока не может полностью удовлетворить спрос на легковые автомобили, и если не будет сборочных производств, то рыночную нишу заполнит импорт, а это — узаконенный вывоз капитала, тогда как сборка, во-первых, позволяет получить хоть какие-то новые технологии; увеличивает размеры прямых инвестиций; создает пусть и не очень много, но все-таки новые рабочие места; ведет к росту налоговых отчислений и т. д.; во-вторых, она обеспечивает право населения на свободный выбор автомобилей. Так что отказываться от таких производств оснований пока, в общем-то, нет. Но их число не должно превышать разумных пределов.

Причем эта "разумность" должна базироваться на совершенно очевидных постулатах. Главный их них состоит в том, что внешнеторговый баланс в системе "собственное производство автомобилей, их сборка на территории России и импорт" должен быть положительным. В противном случае говорить о развитии отечественного автомобилестроения бессмысленно. Потому что транснациональные корпорации, имеющие беспрецедентно высокие возможности по обеспечению конкурентоспособности своей продукции как за счет экономии на издержках производства, так и создания и продвижения инновационных продуктов и технологий, отечественную автомобилестроительную отрасль задавят.

Таковы общие соображения, против которых специалисты вряд ли что могут возразить. Но для практики требуется знать, каким должно быть соотношение импорта и сборки автомобилей на территории России, которое не окажется губительным для отечественного автомобилестроения.

Расчетные исследования дают ответ на этот вопрос: импорт новых автомобилей не должен превышать 570 тыс., а собранных на территории России (при 30 % стоимостной локализации) — 2,8 млн шт. в год. При этих условиях к 2020—2025 гг. число автомобилей, выпускаемых российскими заводами, должно составлять не менее 3,6—4,6 млн в год. Что соответствует соотношению 1 : 5 : (6,3÷8).

При имеющемся "раскладе" в исконно отечественной автомобильной промышленности реализовать такое соотношение в обозримом будущем просто нереально. Уже хотя бы потому, что нашим автомобилям придется конкурировать с автомобилями ведущих мировых концернов. Особенно с собираемыми на российской территории: они будут стоить значительно меньше их западных аналогов по причине установленного режима наибольшего благоприятствования. Во-вторых, из-за того, что совокупная производственная мощность наших автозаводов существенно меньше расчетных потребностей. В-третьих, безусловно, скажется и разница в амортизационной политике ведущих западных автомобильных концернов и отечественных предприятий. Так, по состоянию на 31 декабря 2003 г. за два года производства автомобилей "Форд Фокус" на активную часть производственных фондов стоимостью 1 105 413 тыс. руб., развернутых в России, амортизационные отчисления составили 176 104 тыс. руб., что соответствует ~16 % ежегодной нормы амортизации. Это означает: на обновление активной части основных фондов уйдет 6,28 года. В то же время амортизационные отчисления на полное восстановление основных средств, например, ВАЗа, к структуре себестоимости продукции за первое полугодие 2005 г. составили всего лишь 2,47 %. При таких показателях обновить основные средства ВАЗ сможет за ~40 лет. И это при том, что, как свидетельствует мировой опыт, в среднем за пятилетний период производительность выпускаемого оборудования повышается в 1,5—1,6 раза, радикально совершенствуется его структура, на 20 % снижается удельная металлоемкость и на 12—15 % — удельная энергоемкость. Не говоря уже о повышении надежности и сокращении затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Как видим, задача, стоящая перед отечественной автомобильной промышленностью, крайне сложная. Решить ее самостоятельно, т. е. без государственной поддержки, отрасль точно не сумеет. Поэтому то, что совет директоров ВАЗа в 2005 г. одобрил переход автозавода под контроль "Рособоронэкспорта", можно рассматривать только как положительный факт. Во-первых, потому, что государство, по существу, "прощает" ВАЗу долг (а это ~5 млрд руб.), во-вторых, берет на себя строительство нового завода современных двигате-

лей; в-третьих, вводит на постоянной основе "нулевые" импортные пошлины на отдельные виды технологического оборудования (механические устройства для гальванопокрытия, электролиза и электрофореза, промышленные роботы); в-четвертых, Внешторгбанк обязуется не только привлекать для ВАЗа зарубежные кредиты, но и обслуживать финансовые потоки предприятия внутри страны.

Итогом всего сказанного, как заявляет руководство ВАЗа, станет строительство (к 2020 г.) нового дочернего предприятия мощностью 450 тыс. автомобилей в год. Однако этого даже с учетом имеющихся производственных мощностей у самого АвтоВАЗа на 2—3 млн шт. меньше минимально необходимого (3,6—4,6 млн) для России объема производства.

Ситуация осложняется еще и тем, что Россия вступает в ВТО, что приведет к снижению на 15—20 % пошлин на ввоз новых иномарок. Правда, не сразу, а в течение семи лет. Но для отечественного автомобилестроения семь лет — не так уж и много. Например, новая модель ВАЗа, ВАЗ-2118 "Калина", была запущена в производство в конце 2004 г., а в полном объеме ее выпуск начнется только в 2008 г. Если учесть еще и время проектирования этого автомобиля, то весь цикл его создания и освоения на новых (дополнительных) производственных площадях для "тиража" 200—220 тыс. в год может составить более 10 лет.

Комментарии, как говорится, здесь не требуются.

Может показаться, что вопросы, о которых шла речь выше, носят абстрактный на сегодняшний день характер. Но это не так. (Например, при оценке кредитоспособности заемщика была взята средняя месячная заработная плата 1000 амер. долл., которая в настоящее время, мягко говоря, не очень частый факт.) Но если проанализировать результаты расчетов, сведенных в таблицу, то можно сделать вывод: в ожидаемом в ближайшие годы диапазоне заработной платы от 500 до 800 долл. кредитоспособность заемщика тоже достаточно велика. О чем говорит такой факт: официальные дилеры новых иномарок в России в первом квартале 2006 г. реализовали (импорт + сборка в стране) ~155—160 тыс. автомобилей, или на 40 % больше аналогичного показателя января—марта 2005 г. (113,2 тыс.). То есть число продаж иномарок оказалось впервые в истории российского рынка больше, чем автомобилей отечественных (~150 тыс.). И это без учета дешевых китайских АТС: их пока немного, но завтра они могут стать таким же массовым явлением, как китайский ширпотреб.

Многие, в том числе и те, кто принимает решения на государственном уровне, считают, что автомобильная промышленность, по какому бы алгоритму она не развивалась, не может сильно сказаться на экономике, сбалансированности бюджета страны и социально-экономической стабильности в обществе. Это ошибка. Достаточно сказать, что без должного развития собственной автомобилестроительной отрасли средний уровень заработной платы по стране, как показывают расчеты отечественных и зарубежных специалистов, довольно долго не сможет подняться выше строки "500—800 амер. долл. " в таблице.

Сегодня мы находимся в середине временного отрезка 1985—2025 гг. Зная инерционность автомобилестроения, уже сейчас нужно предпринимать шаги к тому, чтобы оно, ныне отстающее в своем развитии, не стало уже в ближайшем будущем фактором, сдерживающим развитие национальной экономики, а следовательно, отрицательно сказывающимся на судьбе будущих поколений россиян. В связи с этим представляется, что основными мерами, способствующими развитию отрасли на период до 2025 г., должны быть следующие.

1. Предприятиям, производящим автомобили и комплектующие, нужно дать право по своему усмотрению сокращать до пяти лет амортизационный период для активной части основных фондов.

2. Чтобы увеличить финансовые ресурсы предприятий отрасли, для них следует резко снизить налоговое "бремя", а тем, кто выпускает средства производств, должны быть предоставлены налоговые каникулы на срок 5—10 лет, так как отечественное оборудование в несколько раз дешевле, и появление инвестиционных ресурсов позволит им запустить в производство новые виды этого оборудования, расширить его ассортимент.

3. Для отечественных автомобильных фирм должны быть открыты беспроцентные кредитные линии объемами до 300 млн амер. долл. ежегодно, со сроком погашения до 10—15 лет, направленные на модернизацию действующего производства, ввод новых мощностей, строительство заводов по выпуску современных двигателей, обновление модельного ряда автомобилей и, самое главное, на приобретение лицензий, новых технологий, автомобильных платформ и организацию новых производств.

4. Для стимулирования спроса на продукцию отечественного автомобилестроения необходимо предусмотреть частичную компенсацию процентных ставок по кредиту, затрат на страхование автомобиля, а также рост цен на продукцию естественных монополий, не превышающий темпы инфляции в стране.

5. Таможенная политика должна быть направлена на защиту отечественного производителя автомобилей от импорта готовой продукции. Для чего нужно переориентировать единые ставки не по принципу "чем больше объем двигателя, тем больше ставка за 1 $см^3$ его объема", а по принципу: "максимальные ставки — на объемы 1300—1600 $см^3$".

6. Рост доходов населения необходимо коррелировать с возможностями отечественной автомобильной промышленности. В противном случае спрос на импортные автомобили достигнет таких размеров, что нарушит внешнеторговый баланс страны и, в конечном итоге, приведет к утечке валюты за рубеж и резкому снижению жизненного уровня населения.

7. Государство должно принимать активное участие в определении основных направлений развития внутреннего автомобильного рынка России и развивать автотранспортную инфраструктуру (дороги, АЗС, АГЗС и т. д.).

Производственное объединение "Белорусский автомобильный завод" начиная с 1998 г. проводит широкомасштабную реконструкцию действующего производства, сориентированную на выпуск модернизированной продукции — карьерных самосвалов БелАЗ и другого тяжелого транспортного оборудования. О планах предприятия журнал в свое время рассказывал (см. "АП", 2006, № 7). Но читателей, как известно редакции, интересует, удалось ли реализовать планы, а если удалось, то каким образом.

Обо всем этом рассказывает генеральный директор ПО "БелАЗ", Герой Беларуси, доктор технических наук Павел Лукьянович МАРИЕВ.

УДК 629.48

ПО "БелАЗ": ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА — ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Два из трех запланированных этапов реконструкции БелАЗом успешно завершены, близится к завершению третий. И главными причинами такого успеха стали как минимум четыре: беспристрастная оценка существовавших в то время реалий, которая показала, что поддерживать качество белазовской техники с каждым годом становится все сложнее, так как сказывается изношенность оборудования, которая к середине 1990-х годов достигла критической отметки — 83 %; правильно поставленная БелАЗом цель — добиться постоянного роста доли экспорта производимой продукции в страны дальнего зарубежья; точное определение "инструментов", обеспечивающих достижение этой цели (выпуск продукции мирового уровня, максимальные оперативность и гибкость при создании новой техники); безусловная государственная поддержка замыслов предприятия.

Хорошо понимая объективную необходимость реконструкции действующего производства, руководство предприятия приняло соответствующее решение и подготовило бизнес-план, предусматривающий обновление выпускаемой номенклатуры карьерной техники, разработку новых ее моделей, повышение качества и технического уровня, снижение ее себестоимости на основе внедрения передовых информационных технологий и гибких технологических комплексов, освоение современных методов управления и контроля работы предприятия.

Данный план был последовательно одобрен советом трудового коллектива предприятия, министерствами экономики, финансов и внешнеэкономических связей, рассмотрен на заседании валютно-кредитной комиссии Совета Министров РБ и утвержден распоряжением последнего. То есть стал рабочим проектом стоимостью свыше 277 млн амер. долл.

Источниками финансирования предусматривались собственные средства предприятия, государственная поддержка в виде предоставления налоговых и таможенных льгот, а также кредиты западных банков под гарантии правительства Республики Беларусь.

Основными направлениями реконструкции были техническое перевооружение производства, модернизация информационной системы предприятия, совершенствование технологических и управленческих процессов, организационной структуры, их сертификация на соответствие ИСО 9001, повышение квалификации и трудовой мотивации персонала.

Техническое перевооружение предусматривалось проводить в несколько этапов.

Первый из них — переход производства самосвалов грузоподъемностью 30—55 т на гибкие и другие современные технологии (станки с ЧПУ и обрабатывающие центры на основных операциях механообработки; гибкие технологии при зубообработке шестерен; термическое оборудование с компьютерным управлением; индустриальные технологии подготовки поверхности материалов под раскрой и готовых изделий под окраску; компьютеризация производства).

Второй этап — совершенствование технологии производства гидроцилиндров и другой гидроаппаратуры; дальнейшее развитие гибких технологий в зубообработке за счет внедрения оборудования с ЧПУ на операциях фрезерования, долбления, шлифования, программного оборудования в раскрое листового проката, гибке листа и труб; развитие мощностей сварочного производства; организация собственного производства ободьев под бескамерные шины; внедрение новых видов термической и химико-термической обработки, практически исключающих деформацию изделий, увеличение мощностей инструментального производства; применение новых средств метрологии, контроля материалов, комплектующих и состояния технологического оборудования; дальнейшая компьютеризация производства с переходом к сквозным компьютерным технологиям.

Сейчас, по прошествии семи лет, есть все основания говорить об успешной реализации намеченного. Производственные возможности БелАЗа сегодня действительно определяются широким использованием компьютерных технологий и оборудования с программным управлением. Например, к настоящему времени подключено и сдано в эксплуатацию ~1300 ед. компьютерной техники, выполнен монтаж и введена в эксплуатацию вычислительная сеть с числом пользователей, превышающем 900 чел. В промышленную эксплуатацию введены системы CADDS5 и Pro/Engineer (объемное моделирование изделий), ANSYS (прочностной их анализ), ROBCAD (разработка управляющих программ для робототехнических комплексов), TechCard (разработка технологических процессов), Techtran (разработка управляющих программ для станков) и др. Начиная с 2005 г. ведутся работы по внедрению CALS-технологий.

Уровень компьютеризации производства и доля результатов труда, получаемых с помощью компьютеров, достаточно велики. На предприятии функционирует

комплекс систем класса CAD/CAE/CAM (САПР), САПТП, АСУП и другие функциональные системы, т. е. достигнута критическая масса, которая позволяет приступать к формированию корпоративной информационной системы (КИС), в которой реализуются базовые принципы CALS. Информационная поддержка этапов жизненного цикла будет осуществляться через единую развивающуюся информационную модель изделия. То есть в виде гибкого информационного конвейера обработки информации по всему жизненному циклу изделий, что, как известно, способствует коренному совершенствованию способов и форм организации и управления предприятием, регулированию производственных и деловых отношений.

Начало этому большому делу уже положено. В настоящий момент на предприятии проводится опытная эксплуатация системы электронного документооборота в области конструкторско-технологической подготовки производства; оборудование с программным управлением определяет возможности по всем технологическим переделам — на прессово-заготовительных операциях, при сварке, в механо- и термообработке. Его парк после реализации двух этапов проекта реконструкции достиг почти 600 ед.

В результате крупномасштабного технического перевооружения предприятия в цехах созданы производственные участки с гибкими технологиями на базе оборудования с ЧПУ, способные в самые сжатые сроки обеспечить переход на выпуск новых изделий или проведение серьезной модернизации выпускаемых.

Переход на гибкие технологии благодаря закупкам нового оборудования позволил создать производственные мощности по выпуску новых моделей самосвалов грузоподъемностью 55, 130 и 220 т, а также основных компонентов для комплектования выпускаемой и перспективной техники.

В сварочном производстве введены мощности по изготовлению сварных конструкций рам прицепов и полуприцепов для автомобилей, стрел и рычагов для землеройной техники по заказам западных фирм.

Внедрение новых технологий позволило решить многие вопросы, которые для БелАЗа длительное время были проблемными. Высвобождено более 30 тыс. $м^2$ производственных площадей под организацию новых производств. Выведено из эксплуатации более 500 ед. морально и физически устаревшего оборудования, а на смену ему пришло оборудование с программным управлением. При этом доля последнего в общем парке возросла с 11,2 до 26,8 %, доля механообработки на станках с ЧПУ — с 36 до 69 %, доля прессово-заготовительных операций на оборудовании с ЧПУ — с 14 до 60 %, доля конструкторских разработок, выполняемых с применением САПР, — с 40 до 100 %. Число же операций при переходе на новые технологии, наоборот, сократилось в 2,5—5 раз, а сроки подготовки производства за счет уменьшения объемов технологического оснащения и повышения оперативности выполнения проектных работ — в 2,5—3 раза. В итоге выпуск самосвалов большой и особо большой грузоподъемности за период 2000—2005 гг. увеличился более чем в 3 раза, причем за счет быстрого освоения и поставок обновленной продукции (самосвалы семейств БелАЗ-7513 и БелАЗ-7530), пользующейся повышенным спросом на рынке.

Так, только за последние несколько лет разработан и освоен целый ряд новых изделий; заканчивается подготовка производства карьерного самосвала БелАЗ-7555Е (рис. 1) грузоподъемностью 60 т с гидромеханической трансмиссией, оснащенного маслоохлаждаемыми тормозами задних колес и двигателем QSK-19 мощностью 550 кВт (750 л. с.); продолжаются приемочные испытания опытного образца карьерного самосвала БелАЗ-75171 (рис. 2) грузоподъемностью 156—160 т; изготовлены опытные образцы карьерного самосвала БелАЗ-75570 (рис. 3) грузоподъемностью 90 т, оборудованные гидромеханической передачей с системой автоматического управления и многодисковыми маслоохлаждаемыми тормозами задних колес; изготовлен и прошел предварительные испытания на полигоне завода опытный образец подземного самосвала БелАЗ-75800; учитывая тенденцию постоянного увеличения глубины карьеров, спроектированы и изготовлены первые образцы перспективной машины — карьерного самосвала БелАЗ-75600 (рис. 4) грузоподъемностью 320 т классической схемы 4×2.

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

Комплекс проведенных работ, в том числе внедрение современного измерительного оборудования для контроля качества изготавливаемых деталей и готовых изделий, проверки состояния технологического оборудования, позволил повысить качество выпускаемой продукции. В частности, наметился значительный рост ресурса белазовской техники: по малым самосвалам он приближается к 400 тыс. км пробега, а по большим — к 700 тыс. км. И это не остается незамеченным. Например, уже в 2001 г. карьерный самосвал БелАЗ-75145 грузоподъемностью 120 т был отмечен в числе лучших товаров Республики Беларусь, реализуемых в Российской Федерации. В 2003 г. лауреатом конкурса "Лучшие товары Республики Беларусь на рынке Российской Федерации" в рамках программы "100 лучших товаров России" стал и карьерный самосвал БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 т. За внедрение высокоэффективных методов управления качеством и обеспечение на этой основе конкурентоспособной продукции ПО "БелАЗ" в том же году было удостоено диплома лауреата премии правительства Республики Беларусь. 3 ноября 2003 г. БелАЗ подтвердил соответствие системы качества разработки, производства и обслуживания карьерных самосвалов и автомобильной техники требованиям международных стандартов ИСО 9000 версии 2001 г. как в национальной системе сертификации, так и в немецкой.

Реализация проекта реконструкции была бы невозможной без своевременной подготовки персонала, поэтому ее начали еще до поставки нового оборудования: специалисты, отобранные для его эксплуатации и обслуживания, сначала прошли обучение на специальных курсах при заводском отделе производственно-технического обучения и стажировку в цехе программных станков и отделе технического обеспечения и обслуживания станков с ЧПУ. Затем они же принимали участие в приемке оборудования на заводах-изготовителях, где в соответствии с контрактами также прошли обучение. Последующее участие в работах по монтажу и запуску оборудования позволило им закрепить знания и накопить определенный опыт работы. Специалисты же отдела информационных систем прошли курс углубленного обучения на фирмах, поставляющих программные продукты, а потом обучали других работников на курсах, организованных на заводе. Итог: с начала реализации проекта реконструкции БелАЗа такое обучение прошли более 600 человек.

В 2005 г. наступил третий этап реконструкции БелАЗа: с этого момента основной объем инвестиций направлен на модернизацию вошедшего в состав предприятия литейного производства филиала БелАЗа — УРП "Могилевский автомобильный завод имени С.М. Кирова".

Проект предусматривает коренное изменение технологии существующего производства; закупку и внедрение формовочного оборудования, работающего по No-Bake-процессу; автоматизированного стержневого комплекса с объемом пескострельных головок до 200 л, действующего по Cold-box-amin-процессу; автоматизированного плавильного комплекса, состоящего из двух среднечастотных индукционных печей, которые имеют в своем составе оборудование для очистки литья, регенерации (механической и термической) отработанных смесей, и на все эти цели планируется потратить 12 866 тыс. евро.

И здесь многое из намеченного уже сделано. Например, в 2005 г. завершена поставка оборудования и частично произведен его монтаж, завершение которого позволит получать любые отливки — как стальные, в том числе из низколегированных сталей, так и из серого и высокопрочного чугунов. Причем мощности данного производства составят 20 тыс. т крупного литья и 15 тыс. т мелких и средних отливок, что не только вполне достаточно для обеспечения собственных нужд ПО "БелАЗ", но и открывает путь к поставкам высококачественного литья по кооперации другим потребителям.

Реализация проекта реконструкции на Белорусском автозаводе велась и ведется в условиях действующего производства. С целью экономии кредитных средств основные работы по подготовке проекта и его реализации выполняются своими силами. Что полностью себя оправдывает.

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.1.098.001.01

Концепция современного особокомпактного городского легкового автомобиля

Канд. техн. наук Н.С. СОЛОМАТИН, С.А. ЗАЙЦЕВ, Е.У. ИСАЕВ

Тольяттинский ГУ

Большая насыщенность автомобильного парка и связанные с этим проблемы загруженности дорог, особенно в "часы пик", вносят значительный дискомфорт в жизнедеятельность населения больших городов. Известно, что, например, каждый московский легковой автомобиль перевозит в среднем 1,6 человека, а если его длину (при том же среднем показателе) уменьшить хотя бы на 0,5 м, то освободится полоса дороги длиной 500 км. Не меньше сложностей и с местами парковок: они не справляются с постоянно увеличивающейся автомобилизацией горожан. Правда, в последнее время здесь делается многое. Однако наиболее радикальным способом решения проблемы следует считать создание двухместного современного микроавтомобиля, обладающего необходимыми для города качествами — особо малыми габаритными размерами, высокой маневренностью, комфортабельностью, безопасностью, топливной экономичностью и минимальным воздействием на окружающую среду.

На такой позиции стоят и специалисты кафедры "Автомобили и тракторы" Тольяттинского государственного университета. Более того, они разработали концепцию современного двухместного комфортабельного особокомпактного городского легкового автомобиля.

Данная концепция, как и следует из самого определения термина, представляет собой единый замысел, одна из целей которого — салон малогабаритного легкового автомобиля, максимально комфортный как для людей 95 %-й (средний рост 1,9 м), так и 5 %-й (средний рост 1,5 м) репрезентативности.

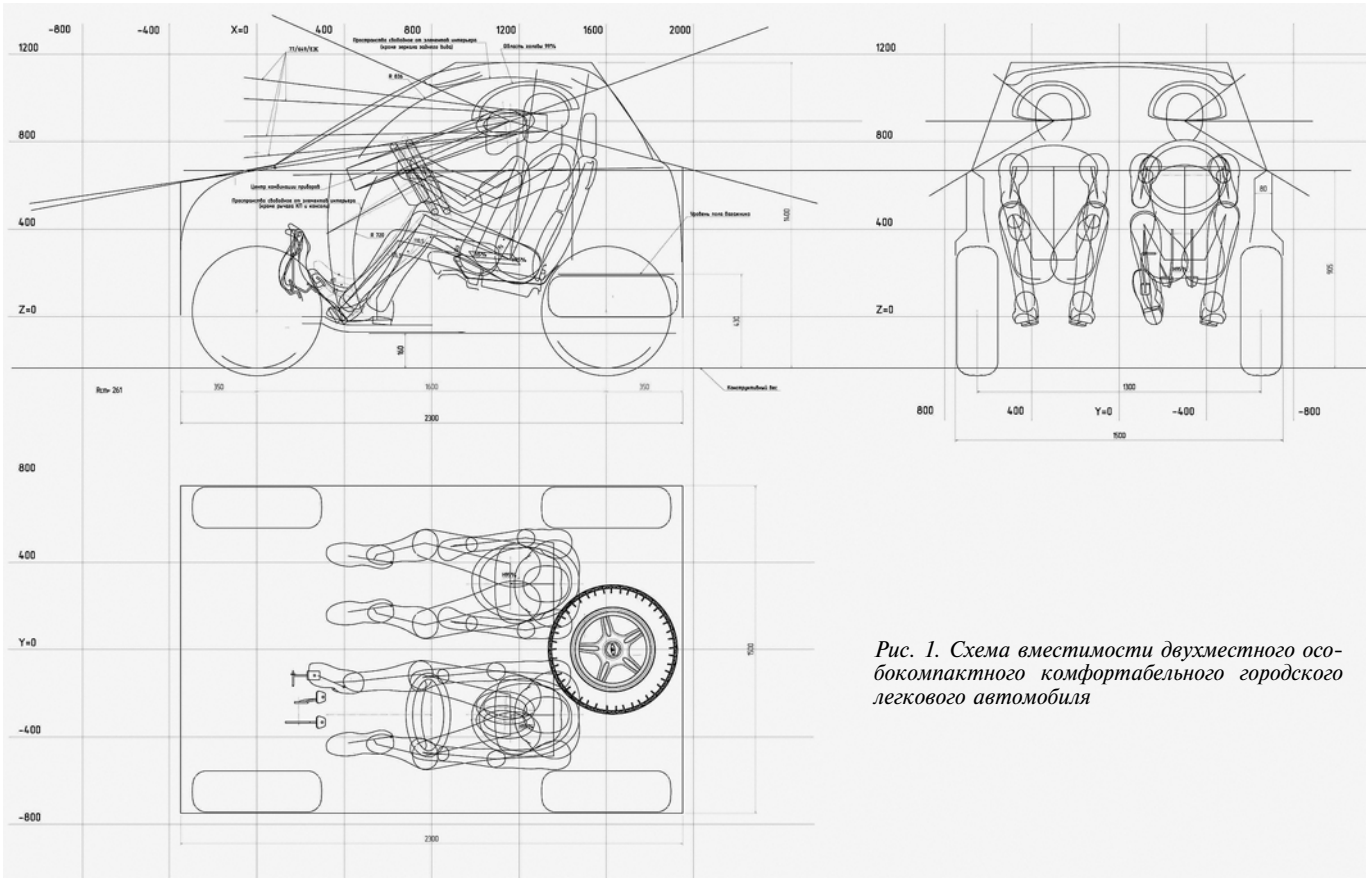


Рис. 1. Схема вместимости двухместного особокомпактного комфортабельного городского легкового автомобиля

Для этого на кафедре разработали схему (рис. 1) вместимости автомобиля, которая, по существу, играет роль исходной информации для дизайн-проекта. Кроме того, при компоновке салона использовали пространственную геометрическую модель человека — 3D-манекен (рис. 2), по которому рассчитывали геометрические параметры и местоположение основных органов управления относительно системы координат автомобиля. Посадку (позу на сиденьи) водителя и пассажира, а также положения органов управления принимали исходя из критерия "эргономически допустимые углы в суставах людей".

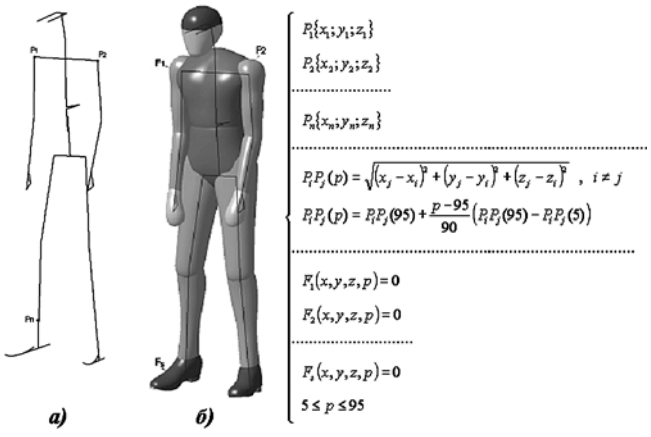


Рис. 2. Манекен: шарнирная (а) пространственная аппроксимированная геометрическая (б) и математическая (в) модели человека, использованные при разработке схемы вместимости двухместного особокомпактного комфортабельного городского легкового автомобиля:

$P_1\{x_1; y_1; y_1\}$, ..., $P_n\{x_n; y_n; z_n\}$ — координаты точек шарнирной модели; $P_iP_j(p)$ — параметр манекена, определяющий расстояние между двумя логически связанными точками шарнирной модели, мм; $F_1(x, y, z, p) = 0$, ..., $F_S(x, y, z, p) = 0$ — уравнение аппроксимированных поверхностей частей тела водителя и пассажира; p — уровень репрезентативности

В результате анализа рис. 1 и учета того, что в качестве движителя выбраны колеса со статическим радиусом $r_{ст}$, равным 261 мм, а запасное колесо должно располагаться за сиденьями, оказалось, что основные габаритные размеры автомобиля должны быть следующими: длина — 2300 мм, ширина — 1500, высота — 1400, база — 1600, колея передних и задних колес — 1300 и дорожный просвет в снаряженном состоянии — 160 мм.

В основу поиска внешней формы (экстерьера) автомобиля были положены интересы четырех групп потребителей — бизнесменов, молодежи, женщин и людей среднего возраста. Поэтому и разработано четыре варианта кузова (рис. 3). Все они — длиной 2,3 м.

Демонстрация вариантов дизайна показала, что форма особокомпактного автомобиля, длина которого чуть более 2 м, также может обладать достаточно выразительной пластикой и разнообразием и тем самым — удовлетворять запросы различных (по полу, возрасту, образованию, культуре и т. д.) групп потребителей.

Наиболее очевидной особенностью всех четырех вариантов дизайна экстерьера рассматриваемого автомобиля является визуально "удвоенное сокращение" длины его кузова. Дело в том, что в статическом положении (при проектировании, на стоянке и т. д.) ви-

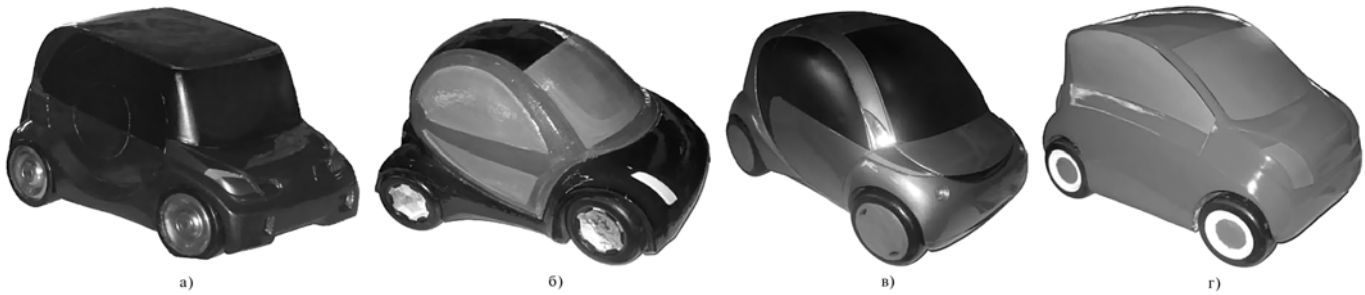


Рис. 3. Варианты дизайна экстерьера двухместного особокомпактного комфортабельного городского легкового автомобиля, рассчитанного на бензисменнов (а), молодежь (б), женщин (в) и лиц среднего возраста (г)

зуально эта длина по сравнению с длиной кузова других ("нормальных") автомобилей значительно уменьшается (объективное сокращение), а в динамике (на скорости более 40—50 км/ч) кажется еще короче и может стать психологически явно непривычной для восприятия его дизайн-формы (субъективное сокращение).

Не учитывать данного обстоятельства при дизайн-проектировании формы кузова просто нельзя. И специалисты кафедры это, как видно из рис. 3, в определенной мере учли. Хотя такого учета в мировой практике пока нет.

Разработанная в Тольяттинском университете концепция автомобиля, если судить по результатам предварительных опросов, дело своевременное: есть все основания считать, что в первой половине нынешнего века такие автомобили получат бурное развитие. Сначала в мегаполисах, а затем и в других городах.

УДК 621.43

Экспериментальный бензиновый двигатель ЗМЗ-НАМИ с непосредственным впрыскиванием топлива

В.И. СОНКИН, А.А. АРТЕМОВ, А.А. БАЖИНОВ, М.А. МИРОНЫЧЕВ

НАМИ, ЗМЗ

Непосредственное впрыскивание бензина (НВБ) в последние годы стало одним самых популярных направлений развития ДВС среди моторо- и автомобилестроительных фирм. Достаточно сказать, что в настоящее время в мире выпускают более 50 моделей и модификаций таких двигателей. Что вполне объяснимо: системы непосредственного впрыскивания позволяют значительно уменьшить расход топлива двигателем (на 18—20 % по городскому циклу и 30 % на холостом ходу), выбросы двуокиса углерода с его отработавшими газами, на 5—10 % повысить удельные энергетические показатели, обеспечить выполнение экологических требований "Евро-3", "Евро-4" и более жестких перспективных норм.

Популярность непосредственного впрыскивания связана также и с тем, что оно создает ряд предпосылок для организации более эффективного рабочего процесса. В частности, дает возможность резко улучшить гибкий контроль смесеобразования и сгорания топливовоздушной смеси путем варьирования моментом впрыскивания (табл. 1).

Так, раннее (на такте впуска) впрыскивание позволяет сформировать гомогенную смесь в цилиндре и обеспечить преимущества, характерные для этого способа смесеобразования: высокий коэффициент наполнения цилиндров, пониженную склонность двигателя к детонации, более эффективные его пуск и переходные режимы, а главное, улучшены мощностные, экономические и экологические показатели.

Еще бóльшие возможности для уменьшения расхода топлива и вредных выбросов на частичных нагрузках предоставляет работа двигателя на расслоенной смеси (богатой у свечи и обедненной на периферии) — благодаря высокому уровню разбавления смеси, качественному регулированию ее состава и высокой степени сжатия. Причем "глубокое" расслоение обеспечивается, как известно, поздним (на такте сжатия) впрыскиванием топлива.

"Слабое" расслоение бедной смеси, которое достигается последовательным впрыскиванием двух доз топлива на тактах впуска, сжатия или расширения, дает ряд дополнительных преимуществ — ускоренный прогрев нейтрализатора отработавших газов, снижение склонности к детонации и стабильное сгорание топливо-воздушной смеси.

Наконец, непосредственное впрыскивание бензина обеспечивает технологическую преемственность впрыскового ДВС с традиционной конструкцией. Более того, двигатель имеет потенциал для дальнейшего развития за счет его совместимости с технологиями наддува и регулируемого газораспределения.

Таковы, если коротко, достоинства технологии непосредственного впрыскивания бензина в цилиндры двигателя с искровым зажиганием. Однако практическая их реализация — задача непростая. Она требует решения ряда серьезных проблем, в том числе таких, как формирование расслоенного заряда у свечи зажигания, нейтрализация выбросов оксидов азота в продуктах бедного сгорания, плавное переключение операционных мод, "мягкое" сгорание расслоенной смеси

Состояние смеси (способ впрыскивания)	Методы	Цели	Результаты
Гомогенная (раннее)	Охлаждение заряда	Увеличение коэффициента наполнения; повышение степени сжатия	Повышение энергетических показателей двигателя; снижение расхода топлива
	Быстрое испарение топлива; обеднение смеси	Быстрый пуск и прогрев двигателя без компенсационного обогащения топливо-воздушной смеси	Снижение выбросов монооксида углерода, углеводородов и расхода топлива
	Устранение пленки топлива в каналах	Точный контроль состава смеси на переходных режимах без компенсационного обогащения	Снижение вредных выбросов и расхода топлива
	Расслоение рециркулируемых отработавших газов	Повышение степени рециркуляции отработавших газов	Снижение выбросов оксидов азота и расхода топлива
Расслоенная (позднее)	Обеднение смеси до $\alpha = 2,5 \div 4,0$	Повышение индикаторного КПД	Снижение вредных выбросов и расхода топлива
	Уменьшение степени дросселирования	Повышение механического КПД	Снижение расхода топлива
	Повышение степени сжатия на 1,5—2 ед.	Повышение индикаторного КПД	Снижение расхода топлива
	Расслоение рециркулируемых отработавших газов	Повышение степени рециркуляции отработавших газов до 30—50 %; улучшение сгорания смеси	Снижение выбросов оксидов азота
Слабо расслоенная (двойное)	Замедление предпламенных реакций	Повышение степени сжатия	Снижение расхода топлива
	Ускорение прогрева нейтрализатора отработавших газов	Повышение эффективности нейтрализатора отработавших газов	Снижение выбросов «холодных» монооксида углерода и углеводородов
	Улучшение сгорания при переходе с гомогенной смеси на расслоенную и обратно	Устранение рывков и провалов автомобиля на переходных режимах работы двигателя	Улучшение ездовых качеств автомобиля; снижение вредных выбросов

и т. д. Об этом можно судить уже хотя бы по тому, что все перечисленные и многие другие характеристики НВБ-двигателей, выпускаемых разными фирмами, отличаются, причем существенно. Для примера приведем результаты анализа одного из важнейших показателей двигателя — его литровой мощности.

Картина здесь следующая: у безнаддувных НВБ-двигателей она варьируется от 50 (автомобиль "Ниссан QR25DD") до 74,2 (автомобиль "Ауди RS4") кВт/л, или от 68 до 101 л. с. /л, а у наддувных даже одной фирмы ("Фольксваген") — от 55,6 до 89,9 кВт/л, или от 75,5 до 122,1 л. с./л.

Таким образом, **что** нужно сделать, чтобы в полной мере использовать потенциальные возможности технологии непосредственного впрыскивания бензина, теория и практика знают. На вопрос же "**Как** реализовать эти возможности?" полного ответа, к сожалению, пока нет. Поэтому любой шаг в данном направлении должен представлять значительный интерес для специалистов. В том числе и результаты исследовательских работ, выполненных в НАМИ, естественно.

Специалисты НАМИ и Заволжского моторного завода на базе четырехцилиндрового 16-клапанного двигателя ЗМЗ-4062.10 рабочим объемом 2,3 л разработали его НВБ-модификацию, имеющую высокий уровень технологической преемственности с серийным прототипом и работающую по технологии "ультрабедного" двигателя, т. е. на бедной расслоенной смеси с качественным регулированием на малых и средних скоростных и нагрузочных режимах и на гомогенной смеси стехиометрического или мощностного состава — на остальных режимах. Для этого изменена конструкция верхней части серийного двигателя — головки цилиндров, поршней и впускного трубопровода. Кроме того, в систему подачи воздуха ввели индивидуальные заслонки регулирования вихря на впуске, добавили к системе впрыскивания топлива высокого давления и МП-системе управления топливоподачей и зажиганием устройство, позволяющее управлять ими вручную.

В ходе исследований модифицированного двигателя изучались, по существу, три его составляющих — топливная система, система сгорания и система управления. Рассмотрим, что же получилось.

Топливная система. Ее назначение общеизвестно: подготовить топливовоздушную смесь требуемого состава, т. е. способную к воспламенению и сгоранию. Для этого система непосредственного впрыскивания бензина, кроме обычных для впрысковых топливных систем требований (точность дозирования цикловой подачи топлива по режимам работы двигателя и равномерность распределения топлива по цилиндрам, впрыскивание топлива в соответствующей фазе рабочего цикла, стабильность конфигурации струи в последовательных циклах, исключение повторных впрыскиваний и утечек топлива), должна, как выяснилось, учитывать и специфические требования НВБ-технологии. Например, в случае "ультрабедного" двигателя — обладать возможностью гибко изменять характеристики впрыскивания (момент впрыскивания, геометрию струи топлива и др.), чтобы обеспечить работу двигателя как минимум в двух основных операционных модах — со сгоранием гомогенной смеси и сгоранием расслоенной смеси. Иначе говоря, на малых нагрузках, где нужна расслоенная смесь, обеспечивать позднее (на такте сжатия) впрыскивание при давлении в цилиндре ~2 МПа (20 кгс/см^2): без такого давления невозможно получить требуемые дисперсность струи топлива и ее дальнобойность, а также сохранить расслоенное состояние смеси. На больших нагрузках, когда тоже требуется хорошо распыленная струя топли-

ва, но — подаваемая более продолжительное время, чтобы завершить формирование гомогенной смеси даже при максимальных подачах топлива, что обычно достигается ранним (на такте впуска) впрыскиванием при давлении в цилиндре, близком к атмосферному.

Кроме того, при некоторых условиях (полная нагрузка, переход с гомогенной на расслоенную смесь и наоборот, холодный пуск) желательно иметь в гомогенном бедном заряде локально обогащенную смесь. Она формируется с помощью двойного впрыскивания, когда в течение одного цикла последовательно подаются две дозы топлива — на тактах впуска и сжатия или сжатия и расширения.

В современных НВБ-двигателях используют давление $p_в$ впрыскивания, равное 5—15 МПа, или 50—150 кгс/см^2, а в экспериментальных системах с пьезофорсунками — даже до 20 МПа (200 кгс/см^2). Оно, как видим, на порядок выше, чем в двигателях с многоточечным (распределенным) впрыскиванием, и на порядок ниже, чем в дизелях. Причем повышать его еще дальше нежелательно, несмотря на то, что мелкость распыливания струи топлива (диаметр капель) немного растет (рис. 1, *а*) — и это благоприятно для его быстрого испарения. Но одновременно увеличивается дальнобойность *S* струи (рис. 1, *б*), что может привести к оседанию капель на стенки камеры сгорания, следовательно, увеличить выбросы углеводородов. Повышенное $p_в$ ведет также к росту механических потерь, шума работы форсунок, снижает надежность топливной системы и увеличивает ее стоимость.

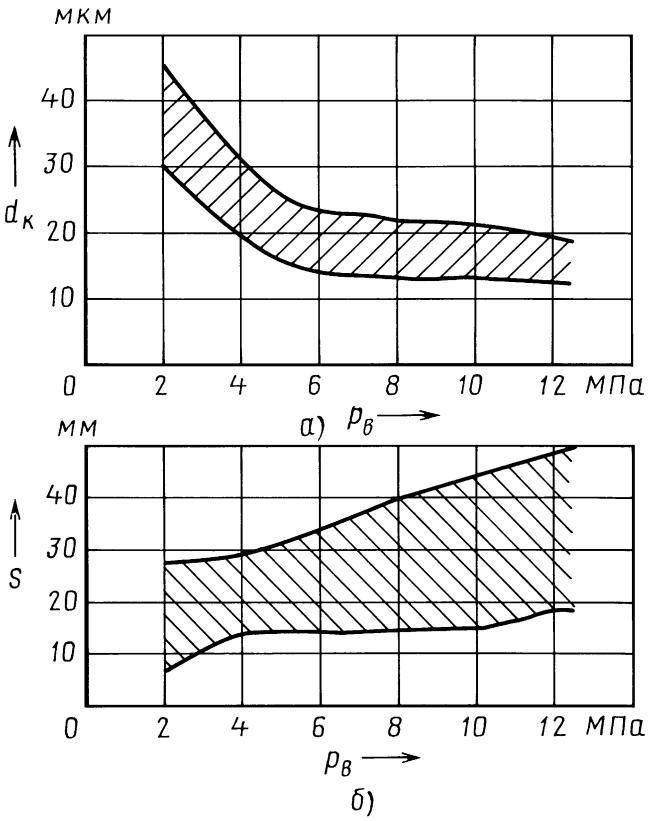


Рис. 1. Влияние давления подачи топлива на средний диаметр капли $d_к$ по Заутеру (а) и дальнобойность струи S (б); форсунка — вихревая электромагнитная

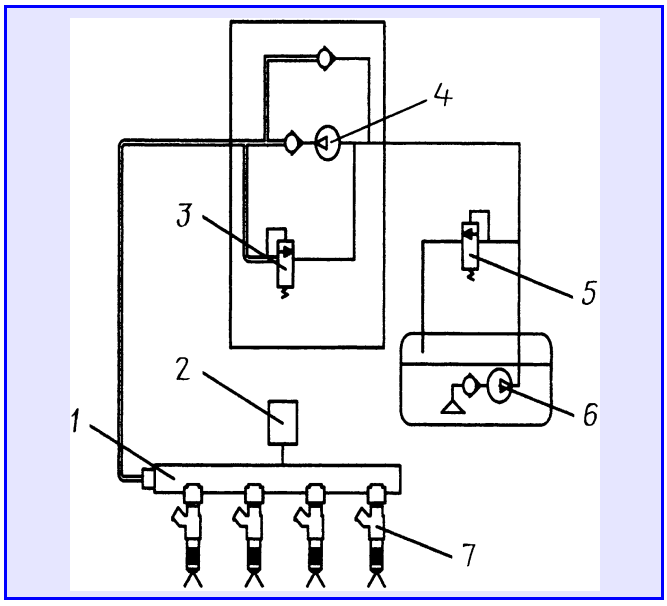


Рис. 2. Принципиальная схема аккумуляторной системы впрыскивания бензина экспериментального НВБ-двигателя:
1 — топливный аккумулятор; *2* — датчик давления; *3* — регулятор высокого давления; *4* — топливный насос высокого давления; *5* — регулятор низкого давления; *6* — электробензонасос; *7* — форсунка

Учитывая сказанное, был сделан вывод: для НВБ-двигателей лучше всего подходит аккумуляторная система впрыскивания. В связи с чем дальнейшие работы на экспериментальном двигателе вели при одном из ее вариантов, принципиальная схема которого показана на рис. 2.

Как видно из рисунка, данная система — двухконтурная. Первый из них, низкого давления, включает электробензонасос *6*; регулятор *5* давления, предназначенный для подачи бензина из бака в ТНВД под давлением 0,3—0,4 МПа. В состав второго входят ТНВД *4*, топливный аккумулятор *1*, электромагнитные форсунки *7*, регулятор *3* высокого давления и топливопроводы. При этом ТНВД служит только для нагнетания топлива в аккумулятор. Назначение регулятора высокого давления — поддержание постоянного давления (или изменения его, когда необходимо) перед форсунками, форсунок — дозирование цикловой подачи и формирование струи топлива. Такое разделение процессов дозирования топлива и создания энергии впрыскивания позволяет устранить их негативное влияние друг на друга, снизить требования к точности изготовления ТНВД.

ТНВД увеличивает давление с 0,3—0,4 на входе до 5—15 МПа (с 3—4 до 50—150 кгс/см^2) в аккумуляторе. Его подача подбирается так, чтобы обеспечить относительно низкие пульсации давления топлива в последнем, а также смазывание и охлаждение подвижных своих частей только топливом, чтобы исключить возможность попадания моторного масла в бензин. Предъявляемым требованиям в наибольшей степени соответствуют плунжерные насосы: они долговечны и эффективны, имеют небольшие габаритные размеры, что необходимо для привода такого насоса от распределительного вала, относительно дешевы. Для двига-

телей рабочим объемом 2,2—2,4 л рекомендуемая подача ТНВД — 0,4—0,44 см^3/об. Поэтому в топливной системе рассматриваемого экспериментального двигателя оказалось достаточным применить одноплунжерный ТНВД, приводимый от распределительного вала специальным кулачком. Избыточное топливо, нагнетаемое ТНВД, из аккумулятора возвращается не в топливный бак, а подается на вход ТНВД, что обеспечивает, во-первых, смазывание и охлаждение последнего, во-вторых, минимизирует испарение бензина из бака, уменьшая тем самым давление в системе улавливания паров топлива, т. е. облегчает выполнение норм "Евро-3" и "Евро-4" по его испарению.

Конструкция **топливного аккумулятора** должна быть, с одной стороны, достаточно эластичной, чтобы сглаживать пульсации давления, которые периодически возникают при работе топливных форсунок и ТНВД, а с другой — жесткой, чтобы давление в нем можно было контролировать в соответствии с режимом работы двигателя и принятой стратегией впрыскивания. Для рассматриваемого двигателя найдено компромиссное решение: аккумулятор выполнен в виде плоской алюминиевой пластины, в которой размещены длинный продольный аккумулирующий канал объемом 38 см^3 и каналы для подвода топлива к форсункам, регулятору давления и манометру. Устанавливается он между головкой цилиндров и впускной трубопровод.

Электромагнитная форсунка НВБ-двигателя — элемент конструкции топливной системы, еще более ответственный, чем в многоточечных системах впрыскивания. От нее требуется обеспечить мельчайшую дисперсность распыливаемого топлива и оптимальные геометрические характеристики его струи (угол конуса струи, средний размер капли и дальнобойность), повышенное быстродействие, увеличенное сопротивление отложению нагара, стабильная работа при высоких температурах, давлении топлива и газов.

Так, расчеты показывают (рис. 3): испарение капель бензина диаметром 90 мкм занимает при n = 1500 мин$^{-1}$ десятки миллисекунд, или сотни градусов поворота коленчатого вала, а капель диаметром 15—20 мкм — лишь несколько миллисекунд, что соответствует десяткам градусов поворота коленчатого вала. Быстрое же испарение капель — необходимое условие реализации концепции непосредственного впрыскивания, поэтому максимальное измельчение топлива разработчики НВБ-двигателя и старались обеспечить. В частности, добиться рекомендуемого для НВБ-двигателя среднего диаметра $d_к$ капель не более 25 мкм, а максимального диаметра $d_{к\ max}$ в 90 % объема топливовоздушной смеси — не более 45 мкм. (Последнее ограничение вводят в связи с тем, что небольшого числа крупных капель вполне достаточно, чтобы заметно повысить выбросы углеводородов и снизить эффективность сгорания. И так как основными источниками крупных капель являются подыгольный объем форсунки и отскос ее иглы, приводящий к повторным впрыскиваниям, то оба источника желательно устранить или минимизировать.)

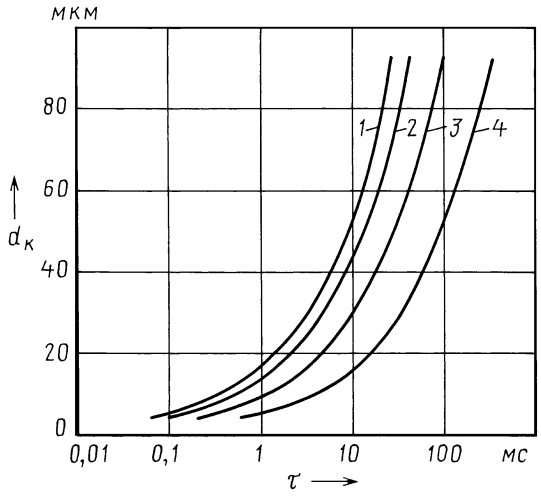


Рис. 3. Влияние диаметра капли и температуры воздуха на время τ испарения бензина:
1 — T = 800 К (527 °С); *2* — T = 600 К (327 °С); *3* — T = = 400 К (127 °С); *4* — T = 300 К (27 °С)

Требования к геометрии струи для режимов со сгоранием расслоенной и гомогенной смесей, очевидно, отличаются. Например, если для формирования расслоенного заряда необходима хорошо распыленная компактная струя с уменьшенными углом конуса и дальнобойностью, то для гомогенной смеси — мелкораспыленная, ограниченной дальнобойности, способная обеспечить равномерное распределение топлива по всему объему цилиндра без смачивания поверхностей поршня, гильзы и головки цилиндров, а также большой угол конуса, который помогает предотвратить образование сажи.

Наконец, от конструкции форсунки требуется повышенное сопротивление отложению нагара как на внутренней, так и на внешней ее сторонах: внутренний нагар вблизи дозирующего отверстия уменьшает цикловую подачу топлива при одинаковой ее продолжительности и может стать причиной неравномерной работы цилиндров, а внешний — искажает геометрию струи (изменяет угол конуса и симметрию струи) и, как следствие, нарушает распределение топлива вблизи свечи в момент зажигания, приводя к нестабильной работе двигателя и пропускам рабочих тактов.

Чтобы исключить оба типа нагара, желательно иметь распылитель со специальным покрытием, гарантировать хороший отвод теплоты от форсунки (температура распылителя не должна превышать 413—418 К, или 140—145 °С), использовать топливо с присадкой, препятствующей формированию нагара.

Анализ серийных конструкций НВБ-двигателей свидетельствует: моторостроительные фирмы наиболее часто применяют на них штифтовые электромагнитные вихревые форсунки высокого давления (рис. 4). В них подвод топлива к сопловому отверстию тангенциальный, благодаря чему в распылителе создается вихрь, который и выходит из него в виде полой конической струи, геометрия которой зависит от конструкции распылителя, интенсивности завихрения топлива и плотности воздуха в цилиндре. Причем эта транс-

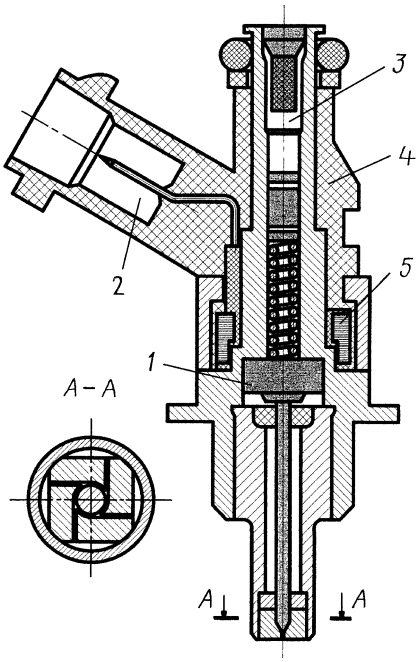


Рис. 4. Схема электромагнитной вихревой форсунки высокого давления:
1 — якорь соленоида с иглой распылителя; *2* — электрический разъем; *3* — гидравлический разъем с сетчатым фильтром; *4* — корпус форсунки; 5 — соленоид

формация энергии давления топлива в осевое его вращение повышает мелкость распыливания и угол конуса струи, ограничивает ее дальнобойность.

Плотность воздуха в цилиндре тоже существенно влияет на геометрию конуса распыливаемой струи. Это связано с возникновением вторичного потока воздуха и, соответственно, динамического разрежения во внутренней части конуса. Причем чем больше плотность воздуха (переход от такта всасывания к такту сжатия), тем больше кинетическая энергия вторичного потока и, следовательно, разрежение внутри полой струи, которое, в свою очередь, вызывает сжатие струи (уменьшает угол ее конуса) в компактный, почти сплошной конус уменьшенной дальнобойности.

Таким образом, завихрение топлива вихревой форсункой позволяет, меняя момент впрыскивания, изменять геометрию струи в зависимости от нагрузки.

Приняв во внимание перечисленные выше обстоятельства, разработчики экспериментального двигателя остановили свой выбор на электромагнитных вихревых форсунках высокого давления, которые отличаются небольшими размерами и, по данным изготовителя, обеспечивают точное дозирование топлива с хорошо повторяемой симметричной струей топлива и средней (не более 25 мкм) мелкостью его распыливания.

Регулятор высокого давления предназначен для регулирования, независимо от подачи ТНВД и количества топлива, впрыскиваемого форсунками, давления в топливном аккумуляторе во всем диапазоне режимов работы двигателя. Осуществляется оно путем ограничения расхода топлива в минимальном проходном сечении с помощью специального клапана, который, в принципе, может иметь как электромагнитный, так и механический приводы, включающиеся по команде микропроцессорной системы управления. Но в экспериментальном двигателе использован клапан с диафрагменным приводом. Регулятор с таким клапаном автоматически поддерживает в аккумуляторе давление, равное 5 МПа (50 кгс/см^2).

То, что сказано выше о **системе управления экспериментальным двигателем**, относится, вообще говоря, к окончательному его варианту. На начальном же этапе разработки данного двигателя система была, как уже упоминалось, совершенно иной. Например, чтобы обеспечить возможность проведения регулировочных испытаний (по составу смеси, опережению зажигания и др.) в рамках разных операционных мод и определить оптимальные калибровки и алгоритмы управления двигателем, была разработана более простая лабораторная МП-система, имеющая устройства ручного регулирования угла опережения зажигания, фазы и длительности импульса впрыскивания бензина на тактах впуска, сжатия или расширения, калибровки двигателя по результатам регулировочных испытаний, а также вывода данных, задаваемых в ходе испытаний, на дисплей управляющего компьютера, сохранение этой информации на магнитном носителе. Предусмотрели также возможность перехода в режим автономного управления двигателем (на стенде) после его калибровки.

И последнее. Разработчики системы управления экспериментальным двигателем в ее конструкции использовали серийно выпускаемые компоненты как отечественных, так и зарубежных МП-систем. В частности, компоненты комплексной МП-системы управления серийным двигателем ЗМЗ (датчики, исполнительные механизмы), а также жгут проводов, доработанный под форсунки высокого давления, и коммутатор; модифицированный МП-блок производства старооскольского АТЭ, который позволяет осуществлять управление исполнительными устройствами по заложенной в него программе с учетом информации от датчиков или по команде оператора, диагностировать возможные неисправности; программы для стендового персонального компьютера, обеспечивающие редактирование программы управления, ее загрузку в блок управления, а также управление фазой, длительностью впрыскивания и углом опережения зажигания. Новый элемент конструкции лишь один — специальный коммутатор, играющий роль силовой ступени системы, которая обеспечивает быстрое и надежное управление электромагнитными форсунками высокого давления.

Таким образом, разработчики экспериментального двигателя ЗМЗ-НАМИ, по существу, обосновали технические требования к основным системам (топливоподачи, сгорания, микропроцессорного управления) бензинового двигателя с непосредственным впрыскиванием и их ключевым компонентам. Что, безусловно, должно упростить работу конструкторов моторных заводов.

(Продолжение следует.)

УДК 621.43.019.4/.6.001.891.57

Трехзонная математическая модель смесеобразования и сгорания в бензиновом ДВС

Кандидаты техн. наук И.Л. ЗАХАРОВ, А.Р. МАКАРОВ и С.Н. ХРУНКОВ, А.Б. ЛЮХТЕР

МГТУ "МАМИ", Нижегородский ГТУ

Многие утверждают, что поршневые ДВС уже достигли предела их совершенствования. Однако теория и практика доказывают, что их резервы еще далеко не исчерпаны. Это подтверждают последние, нередко прорывные решения, основанные на новейших методах исследования и проектирования. В частности, решения, связанные с проблемой оптимизации процесса теплообмена в цилиндре двигателя.

Определенные наработки по данной проблеме есть и в МГТУ "МАМИ", и в Нижегородском ГТУ, где задачу оптимизации теплообмена в цилиндре ДВС решают с помощью комплекса программ, предназначенных для расчета процессов в цилиндре, а также в системах, сопряженных с ним. В том числе по моделированию и расчету процессов газообмена в паре "газы—стенки цилиндра"; диссоциации двуокисла углерода и воды; образования монооксида углерода и оксидов азота; общих показателей цикла, а также механических потерь и эффективных показателей. При этом основная программа моделирует цикл и рассчитывает по углу поворота коленчатого вала имеющие в нем место тепловыделение, потери теплоты в стенки и на диссоциацию, текущие значения температур, давлений и т. д. Причем тепловые расчеты ведутся не по далеким от реалий традиционным адиабатам или политропам сжатия и расширения, а по дифференциальным уравнениям, параметры которых считаются переменными. Кроме того, уравнения описывают три фазы процесса сгорания топливовоздушной смеси — образования начального очага горения, видимого горения и догорания.

Система таких уравнений вместе с дифференциальными уравнениями первого закона термодинамики и теплообмена и представляет собой математическую модель сгорания.

Термодинамическую основу данной модели составляют уравнения скорости изменения параметров состояния газа в цилиндре (формулы № 1 в таблице).

После определения составляющих этих уравнений программа интегрирует их методом Рунге-Кутта, находит текущие приращения Δp и ΔT на расчетном шаге $\Delta\varphi$ и значения p и T. (Данные уравнения пригодны для вычисления параметров состояния рабочего тела во всех процессах действительного цикла, включая процессы наполнения и выпуска, т. е. они представляют собой универсальные дифференциальные уравнения цикла.)

Более сложный момент — аналитическое построение реальной характеристики тепловыделения. Дело в том, что традиционный тепловой расчет ДВС принимает во внимание закономерности протекания процесса сгорания, но совершенно не учитывает физико-химический их смысл. Поэтому пришлось разрабатывать метод синтеза характеристик тепловыделения, который базируется на современных представлениях о механизме процесса сгорания в двигателях с искровым зажиганием и предусматривает последовательный расчет в фазах: в первой — скорость мелкомасштабного турбулентного пламени и задержку воспламенения, во второй — скорости течения газа в камере сгорания и распространения крупномасштабного турбулентного пламени, глубину зоны горения, геометрию камеры сгорания в сферических сечениях фронта и задней границе пламени, объемную и массовую долю выгоревшего заряда; в третьей — скорость и продолжительность догорания.

Расчет ведется на малых (соответствующих 0,1° п. к. в.), интервалах времени, при этом учитываются потери теплоты в стенки и на диссоциацию. Кроме того, применен уточненный метод расчета потерь Q_1 теплоты от газов в стенки и получено уравнение относительной конвективной теплоотдачи (формула № 2).

Для участка цикла "сжатие—расширение" входящая в эту формулу скорость W газов вычисляются по формуле № 3, а утечки газов $dM/d\varphi$ через поршневые кольца — по формуле № 4.

После определения общих показателей цикла выполняется его оптимизация по индикаторному КПД и максимальной мощности цикла путем выбора наивыгоднейших состава смеси (α) и угла $\theta_{заж}$ опережения зажигания. Затем, по завершении моделирования цикла, на основе гидродинамической теории трения и анализа динамики двигателя рассчитываются механические потери. При этом учитываются размеры поверхностей трения, режимы работы двигателя, вязкость масла.

Моделирование работы двигателя заканчивается определением его эффективных показателей.

Далее моделируется процесс сгорания.

После подачи искры около электродов свечи зажигания образуется начальный очаг горения, который можно представить в виде расширяющейся полусферы. До тех пор, пока размеры полусферы меньше масштаба крупных турбулентных пульсаций, горение идет по законам мелкомасштабного турбулентного горения. При этом скорость $U_{тм}$ распространения пламени, согласно теории К.И. Щекина, дает формула № 5, температуру пламени в первой фазе сгорания — формула № 6, а продолжительность θ_1 этой фазы определяется по количеству $\Delta\chi_1$ выгоревшего топлива (формула № 7).

При этом принято, что во фронте пламени идут лишь первичные реакции окисления, в результате которых углерод топлива сгорает только до его монооксида, половина водорода остается не окислившейся, а догорают они в глубине зоны горения. Расчеты показали, что за время догорания фронт пламени успевает продвинуться от источника зажигания на 15—20 мм. Такой величине и соответствует начальная зона горения, которая в дальнейшем прогрессивно увеличивается за счет влияния диффузионных факторов.

В основной фазе расчет процессов в камере сгорания ведется последовательно по трем зонам — несгоревшей смеси, сгорания и продуктов сгорания. Скорость сгорания в последней фазе определяется скоростью вращательного турбулентного движения заряда, а

№ формулы	Формула	Примечания
1	$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{k}{V}\left(\frac{(k-1)dQ}{kd\varphi} - \frac{pdV}{d\varphi} - \frac{p_к dV_к}{d\varphi}\right);$ $\frac{dT}{d\varphi} = \frac{1}{c_v M}\left(\frac{dQ}{d\varphi} - \frac{c_v T dM}{d\varphi} - \frac{pdV}{d\varphi} - \frac{p_к dV_к}{d\varphi}\right)$	p — давление; φ — угол поворота коленчатого вала; k — отношение теплоемкостей; Q — теплота; $\frac{dV_к}{d\varphi}$ — изменение объема заряда вследствие процессов теплообмена и утечки через кольцевые уплотнения; $\frac{dQ}{d\varphi}$ — выделение теплоты при сгорании, теплоотдача в стенки и на диссоциацию; $\frac{dV}{d\varphi}$ — изменение объема цилиндра; T — температура; c_v — теплоемкость; M — масса рабочего тела
2	$d_к = kD^{0,2}p^{0,8}T^{-0,336}W^{0,8}$	D — диаметр цилиндра; W — скорость рабочего тела в цилиндре
3	$W = k_2 \frac{n\left(\varepsilon - \frac{p_z T_a}{p_a T_z}\right)\{k_3 + \cos(2\varphi)\}}{30\frac{f_{во_{ср}}}{V_h}(\varepsilon - 1)}$	n — частота вращения; ε — степень сжатия; k_2, k_3 — численные коэффициенты для разных этапов рабочего процесса (получены опытным путем); p_z, T_z — давление и температура в камере сгорания; p_a и T_a — давление и температура топливовоздешной смеси на входе в цилиндр; $f_{во_{ср}}$ — средняя площадь впускного отверстия; V_h — рабочий объем
4	$\frac{dM}{d\varphi} = \varphi_к \xi_к f_к \psi \frac{p}{6n\sqrt{RT}}$	$\varphi_к$ — коэффициент скорости; $\xi_к$ — коэффициент сужения струи; $f_к$ — площадь в замке кольца; ψ — функция истечения; R — газовая постоянная
5	$U_{тм} = U_н\left(1 - \frac{W'l}{\rho}\right)$	$U_н$ — начальная скорость сгорания; $W'l$ — произведение турбулентных пульсаций на масштаб турбулентности; ρ — коэффициент теплопроводности
6	$\frac{Q_н - \Delta Q_{хим} - \Delta Q_{дисс}}{\gamma l_0(1+\gamma')} + \mu c_{v_i} T_c = \beta\mu c_{v_i} T_z$	$Q_н$ — количество теплоты от сгорания топлива; $\Delta Q_{хим}$ — потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания; $\Delta Q_{дисс}$ — потери теплоты вследствие диссоциации; γ — коэффициент избытка воздуха; γ' — коэффициент остаточных газов; l_0 — количество воздуха для сгорания 1 кг топлива; μ — молярная масса; β — коэффициент молекулярного изменения
7	$\theta_1 = \frac{3,72n}{U_{тм}} \sqrt{\frac{\Delta\chi_i\left\{\left[1 + \cos\Theta_{заж} + \frac{\lambda(1-\cos\theta_{заж})}{4}\right](\varepsilon - 1) + 1\right\}\left(\frac{T_z}{T_c}\right)^{\frac{n_1}{n_1-1}}}{\left[\left(\frac{T_z}{T_c}\right)^{\frac{n_1}{n_1-1}}\right]\Delta\chi_i + 1}}$	$\theta_{заж}$ — угол опережения зажигания; n_1 — коэффициент политропы
8	$T_{пл} = T_c\left[\frac{\int_{\varphi_0}^{\varphi_i}(dQ - pdV)}{Mc_p}\right]\left(1 + \frac{\Delta p}{p}\right)$	c_p — теплоемкость; φ_0 — угол начала процесса сгорания; φ_i — текущий угол; $dQ = (Q_н - \Delta Q_{хим} - \Delta Q_{дисс})M_{тц}d_{i-1} - \alpha_к F_{ст}(T - T_{ст})d\tau$; $M_{тц}$ — цикловой расход топлива; d_{i-1} — предыдущий шаг расчета; α_k — коэффициент теплоотдачи; $F_{ст}$ — площадь стенок камеры сгорания; $T_{ст}$ — температура стенок камеры сгорания; Δp — изменение давления
9	$W = 0,1047\frac{f_{вып}n}{l_{вып}}\left(\frac{1}{\frac{2}{\varepsilon-1} + \sigma} - \frac{1}{\frac{\Delta}{R_{ср}} + \sigma}\right)\sigma'$	$f_{вып}$, $l_{вып}$, Δ — размеры вытеснителя (см. рис. 1); $\sigma = 1 - \cos\varphi + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)$; $\sigma' = \sin\varphi + \frac{\lambda}{2}(\sin 2\varphi)$; $\lambda = \frac{R}{L}$; R — радиус кривошипа; L — длина шатуна
10	$W' = K_т \mathrm{Re} = k_т \frac{Whl}{\nu(h+1)}$	$K_т$ — коэффициент турбулентности; l и h — текущие значения ширины и высоты камеры сгорания; ν — коэффициент кинематической вязкости
11	$U_т = aW' + b_0$	$a \approx e^{-\frac{E}{R_т}}$, $b_0 = U_н$
12	$U_т = kp^n e^{-\frac{E}{R_т}} W' + U_н$	E — энергия активации; $R_т$ — газовая постоянная
13	$W_{пл} = W + U_т$	—

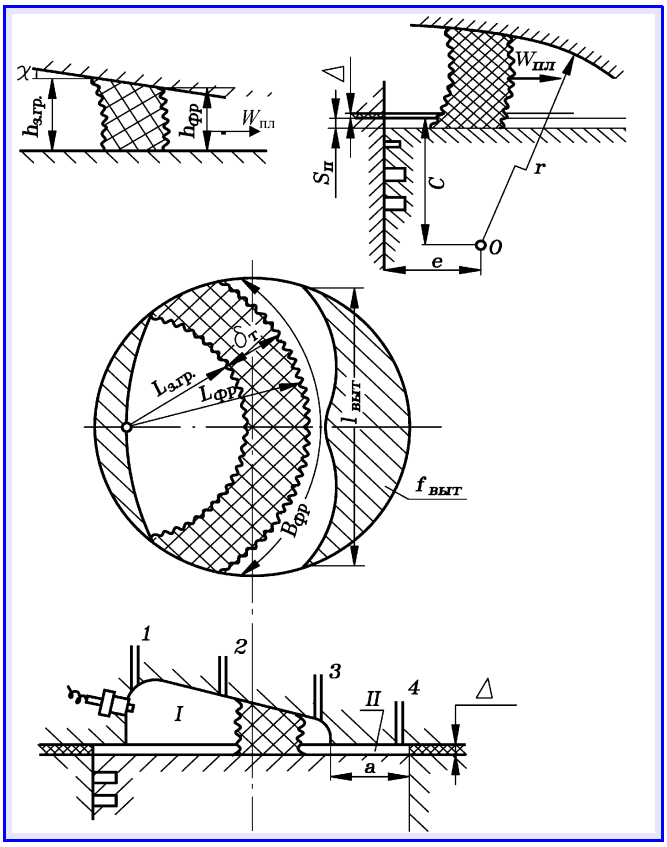


Рис. 1. Расчетные схемы камер сгорания:

1—4 — места установки инизационных датчиков; *I* и *II* — камеры сгорания; $h_{фр}$, $h_{з\ гр}$, $L_{фр}$ и $L_{з\ гр}$ — высота и длина камеры сгорания в плоскостях фронта и задней границы пламени; $W_{пл}$ — скорость распространения пламени; *r* — радиус сферы, образующей свод камеры сгорания; γ — угол свода камеры сгорания; *C* и *e* — координаты радиуса свода камеры сгорания; $f_{выт}$, $l_{выт}$ и Δ — размеры вытеснителя; $B_{фр}$ и $δ_т$ — ширина и глубина пламени; $S_п$ — выступание цилиндра над днищем поршня

химические факторы влияют лишь на ширину зоны горения. Температура смеси перед фронтом пламени определяется с учетом влияния ее сжатия продуктами сгорания, а температура пламени в основной фазе рассчитывается с учетом тепловыделения, теплоотдачи, перемещения поршня и расширения газов при сгорании (формула № 8).

Когда размер очага горения увеличится до такой величины, что станет соизмерим с масштабом крупных турбулентных пульсаций, скорость сгорания будет определяться скоростью этих пульсаций, которые генерируются струйными течениями газа в камере сгорания, т. е. течениями, которые, в свою очередь, возникают из-за больших скоростей втекания заряда через впускное отверстие цилиндра при впуске и за счет вытеснения газа из щели над поршнем при перемещении его вблизи ВМТ в конце такта сжатия.

Расчет скоростей струйных течений газа ведется по двум объемам камеры сгорания (рис. 1): первый — от свечи зажигания до порожка вытеснителя, второй — в щели вытеснителя.

В первом объеме струйные течения генерируются при впуске, в ходе сжатия их интенсивность снижается, но вблизи ВМТ снова несколько возрастает благодаря частичному перераспределению энергии крупных вихрей на пульсации высоких частот при уменьшении объема камеры.

Во втором объеме движение газа создается поршнем при его перемещении вблизи ВМТ. В результате решения дифференциальных уравнений скорости изменения массы газа в этом объеме получена формула № 9, позволяющая рассчитать скорость течения газа в сечении щели вытеснителя и у его порожка.

Из условия, что среднеквадратичная скорость крупномасштабных турбулентных пульсаций в каком-либо сечении камеры сгорания пропорциональна текущему значению числа Рейнольдса, получили формулу № 10 для расчета скорости *W'* пульсаций и формулу № 11, связывающую *W'* с турбулентной скоростью $U_т$ горения. Причем последняя, если учесть рекомендации А.Н. Войнова, превращается в формулу № 12.

Наконец, если газовый поток перемещается со средней скоростью *W*, то абсолютную скорость $W_{пл}$ перемещения турбулентного пламени дает формула № 13.

Таким образом, исследование по предлагаемому методу позволяет анализировать влияние состава смеси, конструкции камеры сгорания, угла опережения зажигания на такие параметры, как скорость сгорания, тепловыделение, потери теплоты в стенки, индикаторный КПД и др. Созданная на его основе САПР "Поршневые ДВС", кроме того, дает возможность анализировать индикаторные диаграммы, с помощью вычислительных экспериментов определять все параметры процессов цикла. Это хорошо иллюстрируют приведенные на рис. 2 действительные и синтезированные по предлагаемому методу индикаторные диаграммы но-

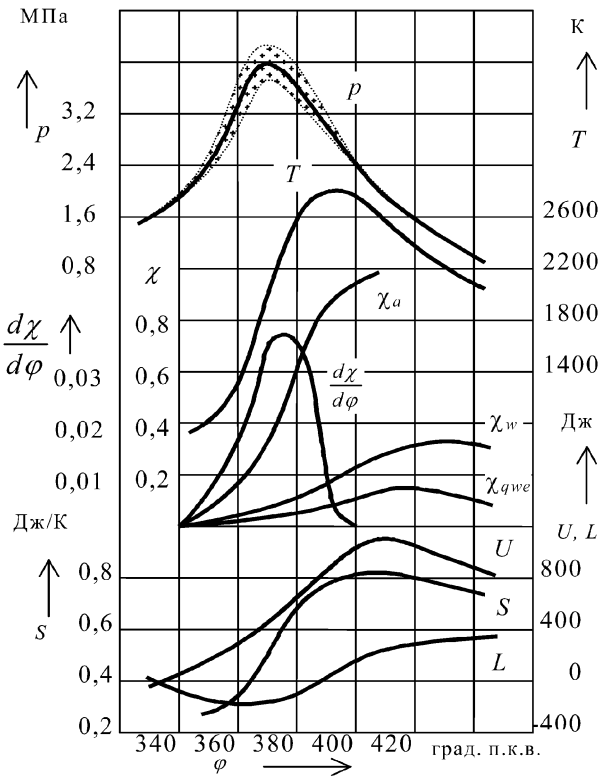


Рис. 2. Кривые индикаторного процесса двигателя ЗМЗ-4021.10 при полной нагрузке, n = 3600 мин$^{-1}$ и α = 1,1 (моделирование — сплошные линии, эксперимент — тонкие пунктирные линии)

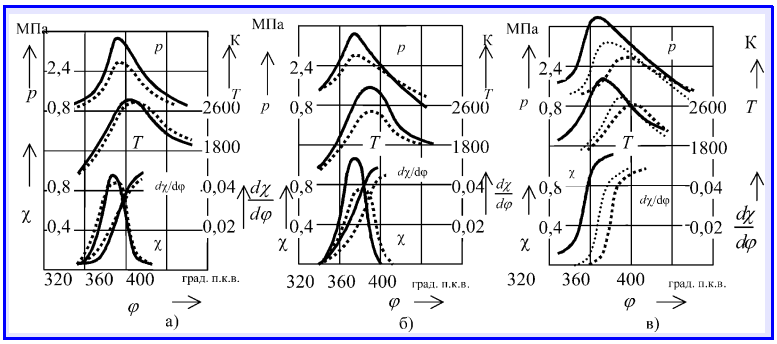


Рис. 3. Расчетные циклы двигателя ЗМЗ-4021.10:

а — l = 1,0; *n* = 4200 мин$^{-1}$, нагрузка — 80 % (сплошные линии) и 50 % (пунктирные линии); *б* — нагрузка полная, *n* = 4200 мин$^{-1}$, α = 0,8 (сплошные линии) и α = 1,15 (пунктирные линии); *в* — нагрузка полная, α = 1,0, *n* = 4200 мин$^{-1}$, угол опережения зажигания — 50° (сплошные линии), 40° (тонкие пунктирные линии) и 30° (толстые пунктирные линии)

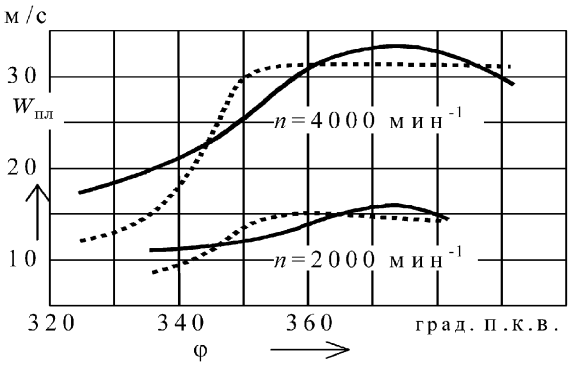


Рис. 4. Экспериментальные (сплошные линии) и полученные по математической модели (пунктирные линии) зависимости скорости пламени от угла поворота и частоты вращения коленчатого вала двигателя ЗМЗ-4021.10

вого четырехцилиндрового двигателя ЗМЗ-4021.10 рабочим объемом 2,445 л. Как видим, расхождение в пересчете на среднее индикаторное давление при разных режимах составляет от 4 до 8 %. Так что есть все основания доверять и рис. 3, на котором даны расчетные характеристики тепловыделения для того же двигателя при разных нагрузках, составах смеси и углах опережения зажигания, а также циклы, синтезированные на основе этих характеристик.

О хорошем совпадении расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют и кривые скорости перемещения турбулентного пламени (рис. 4), а также чисто расчетные и рассчитанные по данным экспериментов значения индикаторного КПД (рис. 5) двигателя ЗМЗ-4021.10.

Протекание синтезированных характеристик тепловыделения определяется, как показали вычислительные эксперименты, формой камеры сгорания, углом опережения зажигания, составом топливовоздушной смеси, степенью турбулизации заряда, нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала, т. е. теми же факторами, которые характеризуют протекание действительных процессов тепловыделения.

Таким образом, можно считать доказанным, что математическое моделирование процесса сгорания в цилиндре ДВС с искровым зажиганием дает возможность точно прогнозировать, как будет проходить сгорание при изменении конструктивных, регулировочных и режимных факторов. Причем сделать это без больших затрат труда и времени.

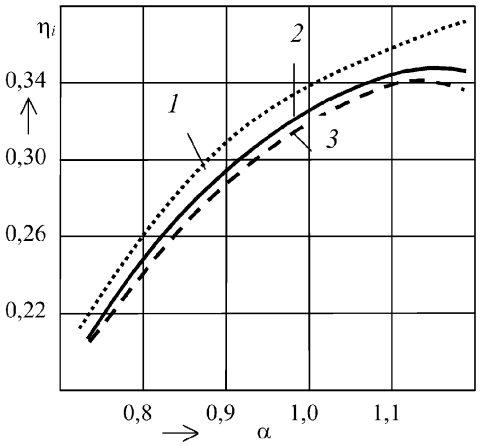


Рис. 5. Зависимость индикаторного КПД двигателя ЗМЗ-4021.10 от коэффициента избытка воздуха (нагрузка полная, n = 4200 мин$^{-1}$):

1 — математическое моделирование при мгновенном подводе теплоты; *2* — математическое моделирование с учетом закономерностей сгорания; *3* — эксперимент

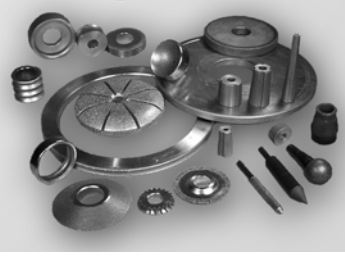
Открытое Акционерное Общество
АлмазИнструмент
Т/ф: (48134) 6-42-53, 4-04-00, 6-44-01
e-mail: mktg@almaz-i.ru www.almaz-i.ru
Адрес: 216500, Россия, Смоленская обл., г. Рославль, ул. Ленина, д. 3

ОАО «Алмазинструмент», специализируясь на разработке, изготовлении и поставках широкого спектра алмазного инструмента, приглашает к сотрудничеству предприятия РФ и стран СНГ, а также региональных представителей, и предлагает:

•Алмазный правящий инструмент из природных и синтетических алмазов;

•Алмазный инструмент, изготовленный методом гальваностегии.

Возможно изготовление нестандартного инструмента по чертежам и эскизам заказчика.



УДК 621.433

Общая концепция совершенствования газовой аппаратуры ДВС с искровым зажиганием

Д-р техн. наук В.И. ЕРОХОВ, канд. техн. наук М.А. КАРУНИН

МГТУ "МАМИ"

Совершенствование экологических и экономических параметров ДВС при одновременном сохранении и даже улучшении их энергетических и динамических качеств относится к одной из приоритетных проблем современного двигателестроения. И наиболее реальным направлением ее решения считается использование так называемых альтернативных моторных топлив. Прежде всего — углеводородных газов, потому что переход на них, как и немногие другие экологические мероприятия, окупает затраты прямым экономическим эффектом — в результате сокращения расходов на традиционные ГСМ. Правда, неизбежное и сравнительно быстрое истощение запасов нефти в не столь уж и отдаленной перспективе — принципиальное препятствие дальнейшего масштабного использования сжиженного нефтяного газа в качестве моторного топлива. Но накопленный к настоящему времени положительный опыт его применения может быть реализован при переходе с него на сжатый природный газ, запасы которого в России весьма значительны. Другими словами, сжатый газ буквально "напрашивается" на роль моторного топлива.

Однако его применение за последние годы не только не увеличилось, а даже существенно сократилось и сейчас практически не оказывает влияния на экологическую обстановку в стране.

Такое положение — результат отсутствия эффективного механизма экономического стимулирования перехода автотранспорта на природный газ, недостаточность финансирования, неудовлетворительная координация работ в решении этой важной для здоровья населения страны задачи и, не в последнюю очередь, определенное неприятие сжатого природного газа потребителем. Последний видит, к сожалению, пока одно: перейдя на сжатый газ, он загружает свой автомобиль тяжелыми (каждый — по 50 кг) баллонами, т. е. снижает его грузоподъемность и проигрывает в пробеге на одной заправке. Все другие достоинства, как говорится, за зоной его восприятия. И этому во многом способствует само развитие конструкций газовой аппаратуры. Оно носит неуправляемый характер: технические решения многие производители заимствуют друг у друга, причем без учета потребительских требований.

Из сказанного напрашивается совершенно очевидный вывод: нужна газовая аппаратура нового поколения. Но ее, что тоже очевидно, без базовой концепции развития такой аппаратуры не сделать.

Разработать данную концепцию попытались специалисты МГТУ "МАМИ".

В ее основу они, как и в построении любой "геометрии", заложили несколько аксиом.

Первая из них гласит: "Газовая аппаратура должна обеспечивать полную адаптацию ДВС к условиям его эксплуатации".

Содержание (суть) второго: современная газовая аппаратура должна представлять собой результат применения системы современных же конструктивно-технологических, технических решений и технологий, позволяющих использовать в одном и том же двигателе традиционное (бензин или дизельное топливо) и альтернативные виды топлива. Причем при полном сохранении базовой конструкции двигателя, дополненной лишь навесными системами и узлами. Естественно, такой двигатель должен работать без ухудшения эффективных и экономических показателей базовой модели.

В основу концепции положены также новые представления о путях коренного улучшения системы редуцирования и дозирования газового топлива, управления рабочими процессами газовой аппаратуры и двигателя, а также повышения эффективности воспламенения газовоздушной смеси. И, что, пожалуй, самое важное — о технико-экономической и социальной эффективности применения газового топлива. Самое важное потому, что раскрытие технико-экономической и социальной роли новой технологии топливоиспользования делает потребителя не столько критиком, сколько заинтересованным участником процесса внедрения данной технологии. Со всеми вытекающими отсюда последствиями для дела. Причем, как показал анализ, каких-либо особых ухищрений здесь не требуется. Достаточно сделать общим достоянием такой показатель газового топлива, как его энергетический эквивалент бензину или дизельному топливу. Тем более что значения данного показателя давно подсчитаны: 1000 м^3 природного газа по своей энергоемкости равноценны 1070 л (790 кг) бензина. Иначе говоря, для замещения 1 кг бензина требуется 1,265 м^3 (0,79 кг) этого газа или (для справки) 0,98 кг сжиженного нефтяного газа. То есть с энергетической точки зрения сжатый природный газ на 21 % выгоднее бензина. Это означает: масса баллонов, равная 21 % грузоподъемности бензинового варианта автомобиля, не изменяет эту грузоподъемность. И с пробегом та же картина: 0,79 кг газа обеспечивает такой же пробег, что 1 кг бензина.

Данная информация (с поправками, зависящими от конкретной конструкции газовой аппаратуры, разумеется) должна быть записана в инструкцию по эксплуатации автомобиля или в его технический паспорт.

Должна, но не записывается. Потому что нынешние комплекты газобаллонной аппаратуры не реализуют потенциальных свойств газа. В результате рабочий процесс двухтопливного двигателя получается не оптимальным при работе на бензине и на природном газе. Хуже того, путевой расход газа оказывается больше расхода бензина. А тут еще и проблема надежности воспламенения обедненных газовоздушных смесей.

Разработанная в МГТУ "МАМИ" концепция учитывает все перечисленные обстоятельства. Но учитывает она и то, что газ обеспечивает более низкое, чем бензин, содержание вредных веществ в отработавших газах и при хорошо организованной работе газовой аппаратуры сохраняет эксплуатационные параметры двигателя при значительном (до $\alpha = 1{,}9$) обеднении состава смеси.

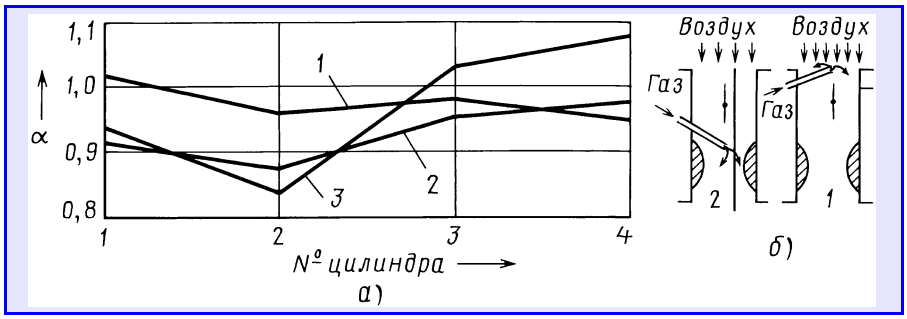


Рис. 1. Распределение коэффициента избытка воздуха по цилиндрам четырехцилиндрового ДВС (а) и схема подачи газа (б):
1 — природный газ; *2* — нефтяной газ; *3* — бензин

Такой учет стал возможным благодаря четким теоретическим представлениям о процессах воспламенения газовоздушных смесей, особенностях их сгорания и вообще протекания рабочих процессов в двигателе. Одно из таких представлений — связь между неравномерностью распределения топливовоздушной смеси по цилиндрам, видом топлива и экологическими качествами двигателя. Эту связь достаточно хорошо иллюстрирует рис. 1, из которого видно: бензин дает (кривая *3*) самый большой разброс коэффициента α избытка воздуха по цилиндрам, сжиженный нефтяной газ (кривая *2*) — значительно меньший, а природный газ (кривая *1*) — наименьший. Но чем больше разброс α, тем больше отличаются условия и качество сгорания смеси, следовательно, и концентрации вредных веществ в отработавших газах.

Эксперименты, проведенные на двигателе ВАЗ-2103, полностью подтвердили данные представления и выводы. Так, они показали, что при работе двигателя на бензине средняя неравномерность топливовоздушной смеси составляет 11 %, а при работе не на природном, а нефтяном газе — 7 %, т. е. она на 34 % меньше. Отсюда и уровень выбросов, например, монооксида углерода: даже при α = 1 они в случае бензина достигали 3 %, хотя теоретически должны быть равными нулю, а в случае нефтяного газа — 1 %. И здесь нужно иметь в виду: при обработке результатов эксперимента принималось, что для сгорания 1 кг газа необходимы те же 14,5 кг воздуха, что и для бензина. На самом же деле нужно 15,5 кг. Иначе говоря, выброс монооксида, равный 1 %, получен фактически при α < 1.

С выбросом углеводородов картина примерно та же: для газа он вдвое меньше, чем для бензина (соответственно 500 и 1000 ppm). Причина — более широкие (по α) пределы воспламенения газа: на нем двигатель может устойчиво работать даже при α = 1,58, тогда как на бензине — до α = 1,37.

При работе на газе меньше образуется и оксидов азота, поскольку температура в камере сгорания ниже. Кислорода же в отработавших газах значительно больше. Но больше, к сожалению, и двуокиси углерода — вещества, выброс которого с недавнего времени стал нормируемым.

Все это хорошо иллюстрируют зависимости (рис. 2), характеризующие содержание различных веществ в отработавших газах двигателя ВАЗ-2103 при изменении частоты вращения его коленчатого вала (кривые *1* — двигатель работает на газе, кривые *2* — на бензине). Если же приведенные на нем данные соответствующим образом пересчитать, то получается, что газовый двигатель на единицу пути выбрасывает меньше, чем бензиновый: монооксида углерода — в 2—4 раза, углеводородов — в 1,1—1,4, оксидов азота — в 1,2—2 раза. И это, повторяем, в случае нефтяного сжиженного газа, энергоемкость которого на 24 % ниже, чем природного газа. Так что есть все основания утверждать (что, собственно, и сделано в рассматриваемой концепции): перевод двигателя ВАЗ-2103 с бензина на природный газ дал бы еще более внушительные цифры.

Исходя из всего сказанного, одним из основных положений рассматриваемой концепции стало следующее: газовая аппаратура должна обеспечивать работу двигателей на бедных газовоздушных смесях. И в то же время отвечать аксиомам, приведенным в начале данной статьи. Другими словами, обеспечивать 100 %-ю реализацию потенциальных возможностей газового топлива.

Пока этого нет. За все время с момента начала применения данного топлива и до сих пор было разработано пять групп газовой аппаратуры: механические системы с вакуумным регулированием подачи газа в карбюратор; механические же системы, оснащенные электронно-управляемыми дозаторами подачи газа с обратной связью (λ-зонд) и работающие совместно с различными вариантами систем впрыскивания бензина; системы с распределенным синхронным впрыскиванием газа во впускной трубопровод, оснащенные дозатором-распределителем, которым управляет электронный блок, и механической форсункой, открывающейся под действием избыточного давления в магистрали подвода газа к ним; системы распределенного последовательного впрыскивания газа с магнитными форсунками, управляемыми элек-

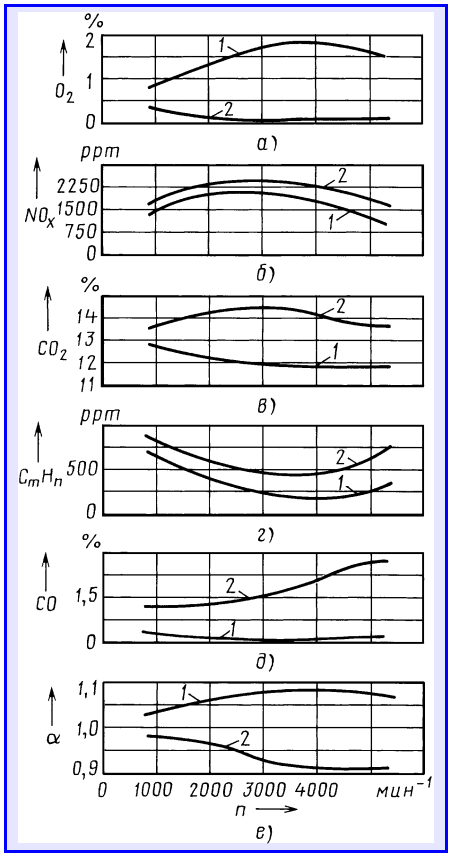


Рис. 2. Зависимости концентраций кислорода (а), оксидов азота (б), двуокиси углерода (в), углеводородов (г), монооксида углерода (д) и коэффициента избытка воздуха (е) от частоты вращения коленчатого вала и вида топлива:
1 — газ; *2* — бензин

тронным блоком и установленными непосредственно перед впускным клапаном каждого цилиндра двигателя; наконец, системы распределенного последовательного впрыскивания газа в цилиндры двигателя, всеми элементами которых управляет (по командам водителя, который меняет положение педали акселератора) электроника в соответствии с заложенными в ней жесткими программами.

Ни одна из перечисленных систем названную выше задачу (полное использование потенциала газа) не решает. Например, системы первой группы были лишь своего рода подтверждением самой возможности перевода двигателя с бензина на газ; системы второй группы — возможности управлять подачей топлива по заданному закону и т. д. И даже системы пятой группы, самые доведенные с точки зрения "гибкости" исполнительных устройств, все-таки работают по "жестким" программам, рассчитанным на осредненные условия эксплуатации двигателя и автомобиля в целом. То есть имеют тот же недостаток, что и АСУ чисто бензиновыми двигателями. Поэтому концепция предусматривает шестую группу газовой аппаратуры — системы, работающие по принципу "гибкой" логики, т. е. способные перенастраивать программы своей работы в зависимости от конкретных условий.

Концепция содержит и многие другие положения, но авторы на них не останавливаются. Во-первых, с целью экономии журнальной площади; во-вторых, потому, что о них гораздо более подробно, чем из любой публикации, можно узнать в МГТУ "МАМИ"; в-третьих, даже из сказанного выше для читателя должно быть вполне очевидно, что разработанная концепция вобрала в себя, по существу, все, что выработала теория и накопила практика эксплуатации газовой аппаратуры бензиновых двигателей, поэтому может и должна стать базой для создания новых поколений этих двигателей.

УДК 621.434.068

Конструктивное исполнение нейтрализатора отработавших газов и экологические показатели автомобиля

Д-р техн. наук В.Ф. КАМЕНЕВ,
канд. техн. наук Н.А. ХРИПАЧ, С.В. АЛЕШИН,
Б.А. ПАПКИН

НАМИ

Каталитический нейтрализатор — один из основных элементов системы выпуска отработавших газов современных АТС. Главная его задача — беспламенное окисление вредных веществ в присутствии катализатора — вещества, которое само не участвует в термохимических реакциях, но, ослабляя молекулярные связи в газах, обеспечивает протекание реакций с меньшими энергетическими затратами на активацию.

Катализаторов известно много. Но эффективность любого из них в основном зависит, как свидетельствует опыт, от конструктивного исполнения нейтрализатора — его загрузки, состава драгметаллов, а также материала каталитических блоков. Подтвердили это и результаты проведенных в НАМИ испытаний двух нейтрализаторов, один из которых (рис. 1) выполнен на основе керамических, а второй (рис. 2) — металлических блоков. (Параметры нейтрализаторов и блоков приведены в табл. 1.)

Так, из рис. 3, на котором показаны зависимости степени K конверсии вредных выбросов в нейтрализаторе с керамическими (сплошные линии) и металлическими (штриховые линии) блоками за 100 ч термоциклирования, следует: первый из нейтрализаторов по всем трем нормируемым вредным компонентам, безусловно, эффективнее второго. Например, после наработки 100 ч его эффективность по монооксиду углерода снижается на 3 %, углеводородам — на 4 и оксидам азота — на 9,5 %. Тогда как у второго, построенного на металлических блоках, — соответственно на 7,6; 13,1 и 14,5 %. Другими словами, первый испытания на термоциклирование по РД 37.001.695—96 выдержал, а второй — нет.

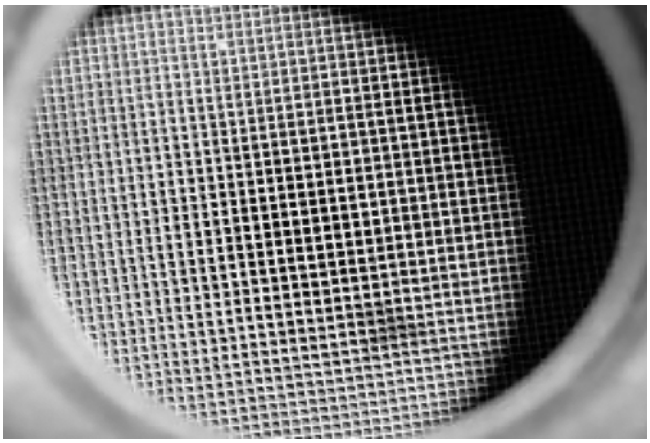


Рис. 1. Инертный монолитный (сотовый) керамический блок

Рис. 2. Металлический блок, свернутый из лент

Таблица 1

Параметр	Нейтрализотор с керамическим блоком	Нейтрализатор с металлическим блоком
Габаритные размеры нейтрализатора, мм	374×137×113	374×112×93
Масса нейтрализатора, г	3600	3000
Число блоков	2	1
Рабочий объем блока, $см^3$	1660	1106
Габаритные размеры блока, мм	101,6×101,6	90×174
Масса блока, г	500	1000
Плотность ячеек, $дюйм^2$	600	400
Загрузка драгметаллами, $г/фут^3$	40	30
Соотношение платина/родий	5/1	5/1

Таблица 2

Параметр	Нейтрализатор		
	экспериментальный первый	экспериментальный второй	контрольный
Диаметр, мм	101,6	101,6	101,6
Длина, мм	101,6	101,6	101,6
Масса блока, г	500	500	500
Число ячеек на 1 $см^2$ поперечного сечения	64	64	64
Объем, $см^3$	830	830	830
Удельная площадь поверхности, $м^2/см^3$	9	9	9
Предел изостатической прочности, МПа ($кгс/см^2$)	1,03 (10,3)	1,03 (10,3)	1,03 (10,3)
Соотношение платина/родий	5/1	5/1	5/1
Загрузка драгметаллами, $г/фут^3$	30	20	40

Таблица 3

Нейтрализатор	Вредные выбросы, г/км					
	CO	Потеря эффективности, %	CH	Потеря эффективности, %	NO_x	Потеря эффективности, %
Контрольный	0,723/1,841	0,0/0,0	0,081/0,170	0,0/0,0	0,223/0,318	0,0/0,0
Экспериментальный с загрузкой драгметаллами 30 $г/фут^3$	1,663/2,847	56,5/—	0,350/0,462	76,9/—	0,576/0,619	61,2/—
Экспериментальный с загрузкой драгметаллами 20 $г/фут^3$	2,010/3,461	64,0/—	0,391/0,507	79,3/—	0,630/0,723	64,6/—

Исследование влияния количества катализатора на эффективность нейтрализатора проводилось тоже на двух нейтрализаторах — экспериментальных, изготовленных на ВАЗе. Оба они — с керамическими блоками, но с различной (30 $г/фут^3$ и 20 $г/фут^3$) загрузкой драгметаллами. При этом в качестве контрольного использовался серийно выпускаемый ОАО "АвтоВАЗагрегат" нейтрализатор с керамическими блоками и загрузкой драгметаллами 40 $г/фут^3$, успешно прошедший испытания на термоциклирование еще в 2002 г. (Технические данные керамических блоков этих нейтрализаторов приведены в табл. 2.)

Испытания шли на технически исправном автомобиле ВАЗ-21103, имеющем пробег 10,1 тыс. км. Их продолжительность, как и в предыдущем случае, — 100 ч,

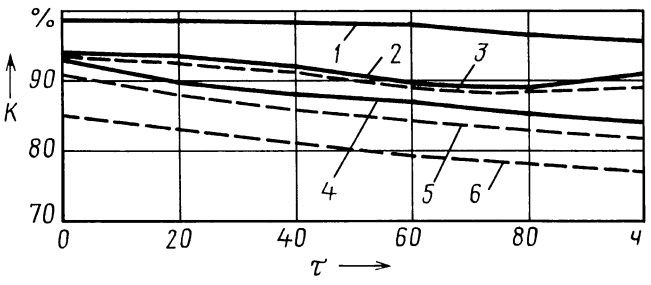


Рис. 3. Изменение степени K конверсии вредных веществ нейтрализаторами при 100-часовом их термоциклировании:
1 и *3* — монооксид углерода, блок керамический и металлический; *2* и *5* — углеводороды, блок керамический и металлический; *4* и *6* — оксиды азота, блок керамический и металлический

итог — в табл. 3 (вредные выбросы измерялись на режиме холостого хода в начале и конце исследований). Цифры в числителе относятся к первому из катализаторов, в знаменателе — ко второму. Все соответствуют завершению испытаний.

Как видим, экспериментальные нейтрализаторы с уменьшенной вдвое, по сравнению с контрольным нейтрализатором, загрузкой блоков драгметаллами через 100 ч наработки заметно снижают свою эффективность. Особенно окислительную способность по отношению к монооксиду углерода и углеводородам. Например, к концу ресурса эта эффективность ухудшается в 2,5 раза. Причина не только в старении катализатора, но и в уменьшении ширины окна бифункциональности и смещении его в сторону богатых топливовоздушных смесей.

Таким образом, при создании каталитических нейтрализаторов "сталкиваются" между собой два желания производителя автомобилей. С одной стороны, он стремится уменьшить себестоимость данного устройства, т. е. снизить — массу дорогостоящего катализатора, а с другой — сделать его работу эффективной. И здесь не обойтись без компромиссов. Например, чтобы обеспечить действующие в России нормы "Евро-2", нужно, во-первых, ориентироваться исключительно на керамические блоки; во-вторых, не тратить деньги на закупку нейтрализаторов зарубежного производства, рассчитанных на нормы "Евро-3" или "Евро-4"; в-третьих, иметь в виду, что долговечность (ресурс) нейтрализатора с двумя блоками зависит, как доказано специалистами НАМИ, от загрузки блоков. В частности, она возрастает, если загрузку второго блока несколько уменьшить.

УДК 62-578.681.5

Алгоритм AWS автоматического управления сцеплением, снижающий темп изнашивания накладок дисков сцеплений

Канд. техн. наук Ю.М. ЗАХАРИК

"МАЗ-Купава".

Анализ современных систем управления сцеплениями показывает, что их развитие идет по пути наращивания тех функций, которые исключают человеческий фактор. Например, в системе ZS предусмотрена программа, облегчающая трогание автомобиля с места на подъемах: для предотвращения скатывания на систему автоматического управления возложена функция регулирования темпа снижения давления в тормозной системе при одновременном увеличении момента, передаваемого сцеплением. Система "Саксоматен" при трогании автомобиля с места реализует алгоритмы плавного включения сцепления в режиме переключения передач, а также взаимодействия системы управления сцеплением и тормозной системы при торможении автомобиля. Она выполняет и пуск холодного двигателя с выключенным сцеплением, что уменьшает при отрицательной окружающей температуре момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала. Адаптивные системы с высокой точностью корректируют сигнал управления сцеплениями с целью компенсации износа накладок их дисков, обеспечивая это на алгоритмическом уровне и за счет применения в исполнительных механизмах быстродействующих клапанов. Многие из современных систем предусматривают при трогании с места и коррекцию момента начала замыкания сцепления в зависимости от температуры масла в двигателе: при недостаточно прогретом двигателе передача момента начинается только после предварительного увеличения угловой скорости коленчатого вала на заданную величину, что устраняет возможность останова двигателя или появления рывка автомобиля в момент его трогания с места. В системе "ЦФ-АС Троник" используется функция слежения за тепловой нагруженностью сцепления: при его тепловой перегрузке автоматически отдается команда на включение более низкой передачи с одновременным оповещением водителя. Кроме того, система диагностирует состояние сцепления с последующей коррекцией положения дисков, а при снижении допустимого уровня работоспособности принимает решение о необходимости его замены и сообщает об этом водителю.

Для повышения надежности электронного управления сцеплениями существующие системы при выходе основного контроллера из строя, как правило, передают управление резервному контроллеру с одновременной выдачей соответствующего диагностического сообщения на панель приборов. Наконец, в системе может быть предусмотрен не только электронный, но и дублирующий механический контур безопасности, активизируемый при возникновении сбойной ситуации.

Как видим, нынешние автоматические сцепления способны выполнять довольно много таких функций, которых не было у традиционных механических сцеплений. Более того, перечисленным выше функции не исчерпываются. Например, уже есть системы, исключающие возможность начать движение автомобиля на непредназначенной для этой цели передаче, индицирующие износ накладок дисков сцепления, режимы его работы и т. д. Однако анализ показывает, что ни одна из таких систем не исключает вероятность некорректного использования системы автоматического управления сцеплением. В частности, данный режим может возникнуть при относительно длительном удержании автомобиля на подъеме за счет проскальзывания сцепления без задействования водителем тормозной системы. Тогда резко возрастают работа и мощность буксования сцепления, что приводит к увеличению температурной нагруженности его элементов, их ускоренному изнашиванию и преждевременному выходу из строя.

В связи с этим возникает вопрос: данный режим — органически присущий автоматическим сцеплениям или его можно каким-то образом исключить? Чтобы ответить на него, проанализируем моментные характеристики известных к настоящему времени систем автоматического управления сцеплениями (рис. 1).

Таких характеристик существует пять типов: параболические (кривые *1* и *4*), прямолинейные (*2* и *5*), экспоненциальная (*3*), оптимальная (*6*) и комбинированные. И каждая имеет свои достоинства и недостатки, но, главное, повторяем, не исключает некорректного ее использования.

Так, параболическая характеристика *1* свойственна системам автоматического управления сцеплениями, имеющим в своем составе регуляторы центробежного принципа действия; прямолинейная *2* характеризует работу электромагнитных сцеплений или электровакуумных исполнительных механизмов. И обе обеспечивают возможность преодо-

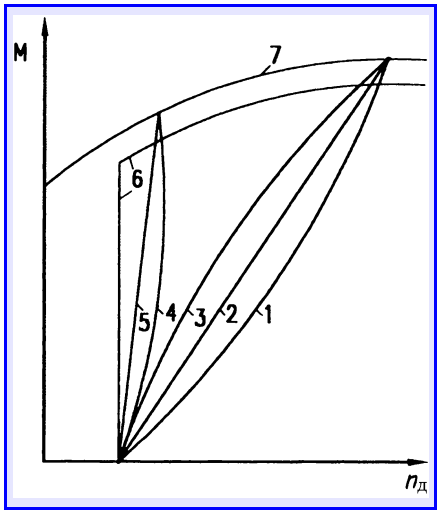


Рис. 1. Характеристики систем автоматического управления сцеплениями:
1 и *4* — параболические; *2* и *5* — прямолинейные; *3* — экспоненциальная; *6* — оптимальная; *7* — внешняя скоростная двигателя

ления автомобилем момента суммарного дорожного сопротивления движению, близкого к максимальному моменту $M_{д_{max}}$ двигателя, поскольку обе пересекаются с внешней скоростной характеристикой *7* двигателя в точке, соответствующей $M_{д_{max}}$. Что, безусловно, их плюс. Однако в связи с тем, что точка пересечения существенно смещена относительно частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода двигателя в область сравнительно высоких частот, то в процессе буксования сцепления происходит интенсивное нарастание угловой скорости коленчатого вала двигателя (задающего воздействия). В результате увеличиваются работа буксования и, соответственно, износ накладок дисков сцепления в процессе трогания автомобиля с места. И это уже их минус.

Моментные характеристики *4* и *5* в определенной степени исключают недостатки, свойственные характеристикам *1* и *2*. Потому что и нелинейная (*4*), и линейная (*5*) характеристики получены, по сути, на основе характеристик *1* и *2* путем смещения точек их пересечения с внешней скоростной характеристикой двигателя в область более низких, близких к частоте холостого хода частот вращения коленчатого вала. Из-за чего снижается работа буксования. Однако полученный таким образом плюс оборачивается минусом: характеристики *4* и *5* не дают автомобилю возможность преодолеть момент суммарного дорожного сопротивления движению, близкий к $M_{д_{max}}$.

Экспоненциальная моментная характеристика *3* достигается настройкой постоянных коэффициентов программы управления электронного блока систем автоматического управления сцеплениями с исполнительными механизмами, которые способны реализовать задающие воздействия электрического типа. Она частично решает проблему использования $M_{д_{max}}$ в процессе трогания автомобиля с места в условиях максимального дорожного сопротивления и минимизации работы буксования сцепления: данная работа меньше, чем с характеристиками *1* и *2*. Но, к сожалению, при штатном (служебном) трогании автомобиля с места она все-таки больше, чем в случае характеристик *4* и *5*.

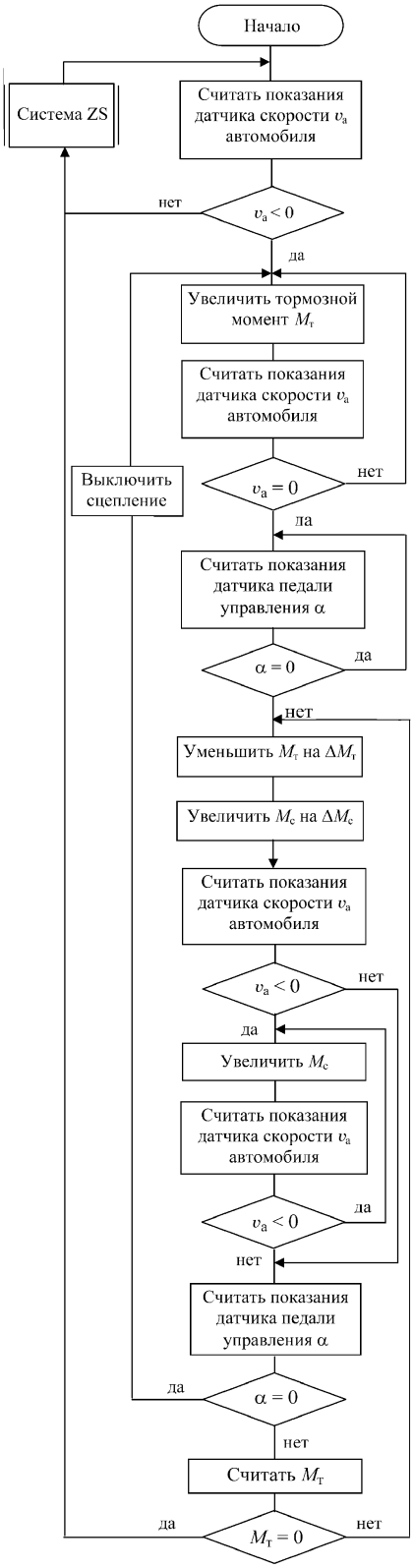


Рис. 2. Алгоритм AWS автоматического управления, снижающий темп изнашивания накладок сцепления:

$M_т$ и M_c — тормозной момент и момент сцепления; $\Delta M_т$ и ΔM_c — итерационное приращение тормозного момента и момента сцепления; $\alpha_т$ и α — углы поворота тормозной педали и педали управления двигателем; v_a — скорость автомобиля

Системы автоматического управления сцеплениями, работающие на основе комбинированных моментных характеристик, — также не оптимальное решение рассматриваемой проблемы. Например, системы, где при штатном (служебном) трогании автомобиля с места используется характеристика *5*, а при трогании с высокой интенсивностью — характеристика *2*, допускают увеличение работы буксования.

Наилучшее решение проблемы дает разработанная автором оптимальная моментная характеристика *6* с изменяющейся без участия водителя структурой, которая при штатном трогании автомобиля с места поддерживает угловую скорость коленчатого вала, близкую к скорости на режиме холостого хода, а при трогании с высокой интенсивностью — $M_{д_{max}}$. В первом случае в качестве задающего воздействия используется перемещение педали управления двигателем, во втором — угловая скорость коленчатого вала двигателя.

Анализ рассмотренных моментных характеристик позволяет сделать следующий вывод: то или иное повышение задающего воздействия (угловой скорости коленчатого вала, перемещения педали управления двигателем и т. д.) приводит к увеличению передаваемого момента сцепления и, соответственно, возможности удерживать автомобиль на подъеме с буксующим сцеплением. Реализует этот вывод алгоритм AWS (Anti wear system — противоизносная система), приведенный на рис. 2: он исключает возможность некорректного использования систем автоматического управления сцеплением. Система сама проверяет положение педали управления, и если водителю требуется остановить автомобиль и он отпустил педаль ($\alpha = 0$), выключает сцепление и повышает тормозной момент до тех пор, пока скорость автомобиля v_a станет равной нулю. В итоге автомобиль удерживается на подъеме за счет тормозного момента при полностью выключенном сцеплении.

УДК 629.3.018.7

Качение автомобильного колеса и определение понятия "тяговая сила"

(В порядке обсуждения)

Д-р техн. наук М.А. ПОДРИГАЛО

Харьковский НАДУ

Качение колеса — наиболее важный из процессов, рассматриваемых как теорией, так и при проектировании, и при эксплуатации автомобиля. В частности, понятие "тяговая сила" в качестве причины движения автомобиля формируется именно в процессе рассмотрения параметров качения его ведущего колеса. Правда, в классической литературе это понятие определяется суммарной касательной реакцией на ведущих колесах. Что, если вдуматься, противоречит положениям классической механики: реакция не может выполнять работу. Но, тем не менее, Е.А. Чудаков и многие другие ученые тяговую силу, по существу, без всяких оговорок, напрямую, связывали и связывают с реакцией.

Так, Е.А. Чудаков рассматривал динамику ведущего колеса по схеме (рис. 1) сил, моментов и реакций, действующих на данное колесо. При этом он исходил из того, что при движении автомобиля крутящий (вращающий) момент $M_к$ на ведущем колесе по величине превосходит момент M_f сопротивления качению, т. е. $M_к > M_f = aZ_к$, где $Z_к$ — вертикальная реакция дороги на колесе, a — плечо трения (коэффициент трения качения, или коэффициент трения второго рода), а тангенциальная (касательная) реакция $X_к$ имеет положительное направление, т. е. совпадает с вектором скорости поступательного перемещения колеса. Момент M_w сопротивления воздуха вращению колеса и сила P_w сопротивления воздуха его поступательному перемещению, из-за их малости, он считал равным нулю, и

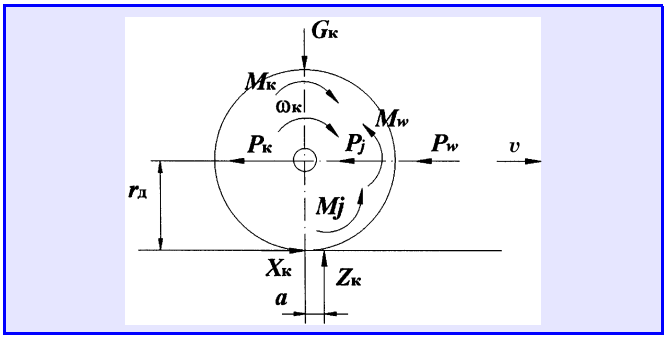


Рис. 1. Схема сил, моментов и реакций, действующих на ведущее автомобильное колесо при качении его по горизонтальной жесткой плоскости:

$G_к$ — вертикальная нагрузка на колесо; $Z_к$ — вертикальная реакция на колесо; $X_к$ — горизонтальная реакция дороги на колесо; $M_к$ — крутящий (вращающий) момент на колесе; $P_к$ — реакция оси колеса на колесо; $\omega_к$ — угловая скорость колеса; M_w и P_w — момент и сила сопротивления воздуха; v — линейная скорость колеса; $r_д$ — динамический радиус колеса; P_j, M_j — сила инерции и инерционный момент, приложенные к колесу

для касательной реакции $X_к$ на колесе привел формулу $X_к = \frac{M_к - aZ_к}{r_д} = M_к - f_к Z_к$, в которой $f_к$ — коэффициент сопротивления качению; $r_д$ — динамический радиус колеса.

В связи с тем, что тангенциальная (касательная) реакция $X_к$ ведущего колеса направлена в сторону движения, то в работах того же Е.А. Чудакова, а также Г.В. Зимелева, Е.Д. Львова, Н.Ф. Бочарова и др. принято считать ее по отношению к колесу толкающей, или тяговой, силой, которая передается от ведущего колеса к раме автомобиля. И только В.В. Иванов, В.А. Илларионов и М.М. Морин в работе "Основы теории автомобиля и трактора" к проблеме подошли более осторожно: они формулу Е.А. Чудакова записали в виде: $X_к = P_{окр} - f_к Z_к = M_к / T_0 - \frac{a}{Z_0} Z_к$, т. е. ввели понятие окружной силы $P_{окр}$ на колесе. Хотя и они отождествляют тяговую силу с касательными реакциями на ведущих колесах. Что, повторяем, противоречит классическому положению теоретической механики, которое гласит: реакции вторичны по отношению к активным силам и работу не совершают. Например, М.И. Бать, Г.Ю. Джанилидзе и А.С. Кельзон в своей книге "Теоретическая механика в примерах и задачах" (1968 г.) на примере катящегося без скольжения ведущего колеса четко показали, что при наличии идеальных связей работа сил реакций равна нулю. Более того, даже при наличии проскальзывания в контакте колеса с дорогой (связь не идеальная) работа совершается только активной силой.

Далее. В теории автомобиля и трактора тяговая мощность рассматривается как произведение тяговой силы на скорость движения машины. Поэтому тяговую силу с физической точки зрения, очевидно, желательно определять не по $X_к$, а более корректно. Ведь никто не возражает против того, что суммарные касательные реакции на ведущих колесах автомобиля меньше суммарных окружных сил, в связи с чем, считают многие, тяговую мощность разумнее все-таки представлять как мощность, создаваемую именно окружными силами на ведущих колесах. Но тогда получается, что моменты $M_к$ сопротивления качению ведущих колес являются внутренним усилием в системе, образуемой ходовой тележкой. А как быть с моментами сопротивления качению на ведомых колесах?

Таким образом, противоречие между классическими механикой и теорией автомобиля, как говорится, налицо.

Выход из создавшегося положения, думается, один: привести понятие "тяговая сила автомобиля" в соответствие с положениями классической механики.

Что для этого нужно сделать, тоже понятно: определить точку приложения (линию действия) тяговой силы.

Как показывает анализ, чтобы решить данную задачу нужно отказаться от того, что послужило причиной возникшего противоречия, т. е. от представления, будто крутящий момент на ведущем колесе есть внутреннее усилие. Иначе геометрическая сумма (главный вектор) всех внутренних сил (моментов) системы равняется нулю. В таком случае и все остальные моменты

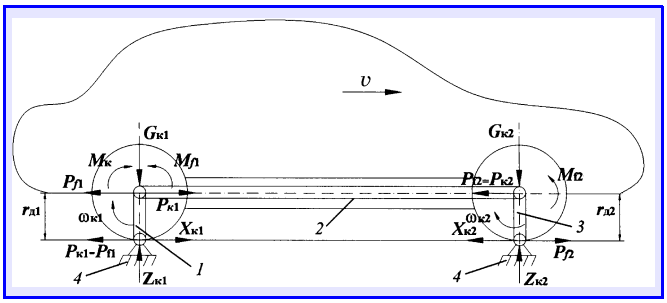


Рис. 2. Приведение ходовой тележки автомобиля к заменяющему ее механизму:
1 — ведущее коромысло (ведущее колесо); *2* — шатун; *3* — ведомое коромысло (ведомое колесо); *4* — стойка

(см. рис. 1), действующие на ведущее колесо, — также внутренние усилия. И получается, что и момент сопротивления качению, определяемый внешними (изменяемыми) условиями, также представляет собой внутреннее усилие, что противоречит физике.

Крутящий момент на ведущем колесе — усилие внешнее, поскольку к четырехзвенному механизму, составленному из трех (два ведомых колеса и жесткий корпус автомобиля) подвижных и одного неподвижного (стойка) звеньев (роль последнего выполняет дорога) он подводится извне. Считать же его внутренним усилием лишь потому, что его источник находится внутри автомобиля как изделия, явно нелогично. Но для тех, кто с этим предложением не согласен, скажем: теоретически можно предположить, что крутящий момент подводится извне, например, от тележки, двигающейся с такой же скоростью параллельно рассматриваемой тележке. То есть применить принцип замены высших кинематических пар низшими, предложенный А.А. Артоболевским, согласно которому аналог механизма ходовой тележки автомобиля — двухкоромысловый механизм (рис. 2).

Для построения заменяющего механизма необходимо параллельно высшей паре ("колесо— опорная поверхность") включить пассивную связь, т. е. добавить два звена, которые направлены по нормали к кривым, образующим высшую пару. В итоге такой механизм должен иметь ведущее *1* и ведомое *3* коромысла и шатун *2* (жесткий корпус автомобиля). На ведущее коромысло *1* (ведущее колесо) действуют внешний крутящий момент $M_к$ и момент M_f сил внешнего сопротивления. Остальными моментами пренебрегаем, считая движение автомобиля равномерным (v = const).

Крутящий момент $M_к$ можно представить как пару сил $P_{к\,i}$ на плече $r_{д1}$, а момент сил внешнего сопротивления M_{f1} — как пару сил P_{f1}, действующих на том же плече $r_{д1}$. Если ведущие колеса приподнять над опорной поверхностью, то механизм лишится замыкающего, неподвижного, звена (стойки) и превратится в разомкнутую кинематическую цепь. Но чтобы механизм работал, кинематическую цепь нужно замкнуть, добавив стойку *4*. Следовательно, при отрыве ведущих колес от дороги механизм становится неработоспособным, т. е. автомобиль не будет двигаться, хотя колеса вращаются, поскольку к ним подведен внешний крутящий момент $M_к$. При возобновлении контакта ведущих колес с дорогой появляется связь, накладывающая ограничения на положение и скорость точек колеса, входящих при вращении в контакт с дорогой. В этом случае ось ведущих колес приобретает скорость горизонтального перемещения под действием неуравновешенной силы $P_{к1}$. Алгебраическая сумма $P_{к1}$ и P_{f1}, преодолевая силу внешнего сопротивления P_{f2} на ведомых колесах, создает условия для движения автомобиля.

Таким образом, тяговая сила, как и внешние силы сопротивления качению колес, приложена к осям колес. В этом случае определение тяговой мощности автомобиля и мощности сил сопротивления качению соответствующих сил на линейную скорость автомобиля становится корректным, поскольку единственная точка на колесе, скорость которой равна скорости автомобиля, — его ось вращения.

При замене связей их реакциями на колеса автомобиля данные реакции, действительно, представляют собой внешние силы по отношению к рассматриваемой системе. Их необходимо учитывать при анализе статического (кинетостатического) равновесия автомобиля как механической системы. Причем внешним усилием, приводящим динамическую систему в движение, является суммарный крутящий момент на ведущих колесах автомобиля, а касательная реакция на тех же колесах — лишь косвенной характеристикой тяговых возможностей автомобиля, поскольку отличается от тяговой силы на величину силы сопротивления качению на этих колесах.

Тяговые возможности автомобиля определяются суммарной окружной силой на ведущих колесах: $\Sigma P_{окр} = \dfrac{\sum M_к}{r_д}$, где $\Sigma M_к$ — суммарный крутящий момент на ведущих колесах. Поэтому в книге Б.С. Фалькевича "Теория автомобиля" (1963 г.) мощность на колесах автомобиля совершенно логично определена именно через окружную силу, обозначаемую $P_{к1}$.

Подводя итоги сказанному, можно сделать следующие выводы.

1. Существующее в теории автомобиля отождествление тяговой силы с суммарной касательной реакцией на ведущих колесах некорректно, поскольку движущие (активные) силы не могут действовать в точках, скорости которых равны нулю (в мгновенных центрах вращения колеса). Кроме того, величина касательной реакции отличается от тяговой силы на величину силы сопротивления качению ведущих колес. Другими словами, данная реакция есть лишь косвенная характеристика тяговой силы, ее математический аналог, лишенный физического смысла.

2. Внешнее усилие, приводящее автомобиль в движение, — суммарный крутящий момент на ведущих колесах, который следовало бы назвать тяговым моментом автомобиля. Но для анализа динамики линейного перемещения автомобиля удобнее использовать тяговую силу — частное от деления тягового момента на динамический радиус ведущих колес. Точкой приложения тяговой силы следует считать ось ведущих колес.

3. Реакции на колесах автомобиля — силы внешние, учет которых необходим при анализе статического (кинетостатического) равновесия системы. При анализе динамики автомобиля их использовать нельзя.

УДК 629.113/.115.002.003.12

Возможности аппаратурного метода оценки работы автомобиля

Канд. техн. наук П.П. ЕВСЕЕВ

Бесспорно: автомобиль на маршруте должен работать эффективно. Но, к сожалению, эта эффективность оценивается чисто субъективно, по принципу "хорошо—плохо". Между тем уже существуют (например, в Австрии) приборы, которые в какой-то мере решают данную проблему, фиксируя степень загрузки АТС, его остановки, среднюю скорость движения и т. д. То есть параметры, интересные как для перевозчиков, так и для владельцев грузов.

Однако сказать, что такие приборы, что называется, "на ура" приняты всеми, или решили проблему в целом, нельзя. И, думается, потому, что австрийская фирма, выпускающая приборы такого типа, не очень четко продумала номенклатуру информативных оценочных показателей. Поэтому то, что сказано ниже, по всей видимости, должно заинтересовать тех, кто связан с перевозками грузов на АТС.

Автомобиль — подвижная энергетическая система, производящая механическую энергию и одновременно использующая ее. В связи с чем за основу оценки его функционирования предлагается принять именно энергетические показатели, наиболее важные из которых — производительность и топливная экономичность.

Исходя из данного условия, автомобиль следует рассматривать как силовую машину, в которой ведущие колеса играют роль исполнительного механизма. То есть можно считать, что мощность, передаваемая на колеса, и есть мощность, которая тратится на преодоление всех сопротивлений движению. Следовательно, в качестве измерителя производительности автомобиля следует принять именно мощность, которая в общем случае для любого момента времени подсчитывается по формуле № 1 (см. таблицу), которая при условии равномерного (установившегося) режима движения и без учета скорости ветра, очевидно, приобретает вид формулы № 2. Итоговое же (среднее) значение производительности АТС дает формула № 3, в которой, в свою очередь, значение $A_к$ подсчитывается по формуле № 4.

Данные формулы справедливы, если рассматривать автомобиль лишь как силовую установку, т. е. объект производства механической энергии и передачи ее к ведущим колесам. Однако его своеобразие состоит в том, что он, перевозя полезный груз, передвигается и сам вместе с грузом. Поэтому полезность "действия" транспортного средства следует оценивать не всей мощностью, приложенной к ведущим колесам, а только той ее частью, которая тратится на перемещение именно груза. Следовательно, формула, по которой нужно подсчитывать производительность автомобиля, должна иметь вид (формула № 5), отличающийся от общепринятого. В свою очередь, полную работу, затраченную на перемещение полезного груза, можно подсчитать по формуле № 6.

Далее. В настоящее время топливную экономичность автомобиля принято оценивать расходом топлива на единицу пройденного им пути (путевой расход топлива). Однако величина этого расхода не может в полной мере характеризовать экономичность функционирования автомобиля. Дело в том, что в общем случае расход топлива зависит не только от пути, но и от нагрузки, создаваемой дорогой и окружающей средой, а также от качества топлива (его теплотворной способности и плотности). В связи с чем топливную экономичность автомобиля разумнее оценивать по его КПД, основанному на общеизвестном: КПД любой системы есть отношение энергии, полезно использованной, к энергии, полученной данной системой. Поэтому итоговое, с учетом формулы № 6, КПД автомобиля дает формула № 7.

Как видим, η_a — величина интегральная, зависящая от параметров $F_г$, q, ρ и Q_s, т. е. четырех параметров. Что для практического применения весьма сложно.

Но есть и второй вариант. КПД автомобиля можно представить в виде отношения полной мощности $N_г$, расходуемой на перемещение полезного груза, к затраченному количеству (естественно, в единицах мощности), т. е. $N_з$ (формула № 8).

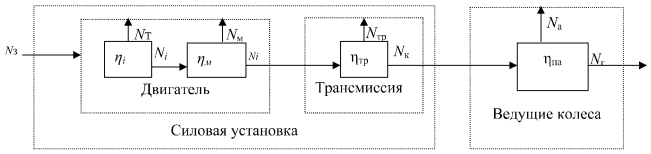
Здесь, как видим, есть ряд "нерасшифрованных" показателей. Но они тоже вычисляются по известным формулам. (Например, N_a — по формуле № 9.)

При таком подходе к понятию "КПД автомобиля" мощность N_a считается теряемой. Но ее можно учитывать с помощью КПД перемещения самого автомобиля в соответствии с формулой № 10, т. е. показателя, который учитывает потери мощности, вызванные перемещением самого автомобиля. Кроме того, данный показатель характеризует степень рациональности использования механической энергии, подведенной к ведущим колесам при осуществлении перевозок грузов.

В то же время если показатель η_a выразить через мощность $N_г$, то выводится формула № 11. И тогда с учетом формул № 2 и 5 получается формула № 12. Зная величины $\eta_{па}$ и $N_{ср}$ можно определить $N_{г\ ср}$ (формула № 13).

На основании приведенных выше соображений автомобиль с энергетической точки зрения нужно рассматривать как структурную схему (см. рисунок), из которой следует: с точки зрения транспортного процесса основной элемент, действительно, ведущие ко-

№ формулы	Формула	Примечания
1	$П = N_к = F_в v 10^{-3} = [mg\psi + W_в(v \pm v_в) \pm mба]v10^{-3}$	$N_к$ — мощность на ведущих колесах автомобиля; $F_к$ — сила тяги, приложенная к ведущим колесам; v — скорость движения автомобиля; m — его полная масса; g = 9,8 м/с^2; ψ — коэффициент сопротивления дороги ("+" — движение на подъеме, "−" — на спуске); $W_в$ — фактор обтекаемости; $v_в$ — скорость ветра ("+" — встречный, "−" — попутный); $mба$ — сила инерции, где $б$ — коэффициент учета вращающихся масс автомобиля, $a = dv/dt$ — абсолютная величина ускорения или замедления
2	$П = N_к = (mg\psi + W_в v^2)v10^{-3} = (mg\psi v + W_в v^3)10^{-3}$	—
3	$П_{ср} = N_{к\,ср} = A_к/T$	$N_{к\,ср}$ — среднее значение мощности; $A_к$ — выполненная автомобилем работа; T — время нахождения автомобиля в движении
4	$A_к = \int_0^T N_к dt = 10^{-3}\int_0^T (F_к v)dt = \frac{1}{9550}\int_0^T (M_к n_к)dt$	$M_к$ — крутящий момент на колесах; $n_к$ — частота вращения ведущих колес автомобиля
5	$N_г = m_г g\psi v 10^{-3}$	$m_г$ — масса полезного груза
6	$A_г = N_г T = m_г g\psi v 10^{-3} T = 10^{-3} m_г g\psi v/3{,}6 = 10^{-3} F_г s/3{,}6$	$F_г = m_г g\psi$ — сила, затраченная на перемещение груза
7	$\eta_а = 10^{-3} F_г/(3{,}6\rho Q_s)$	Q_s — путевой расход топлива
8	$\eta_а = N_г/N_з = (N_к - N_а)/(q\rho G)$	$N_з$ — затраченное двигателем количество теплоты в единицу времени, эквивалентное механической мощности; $N_а$ — мощность, расходуемая на перемещение самого автомобиля; G — часовой расход топлива двигателем; q — теплотворная способность топлива; ρ — его плотность
9	$N_а = (m_а g\psi v + W_в v^3)10^{-3}$	$m_а$ — собственная масса автомобиля
10	$\eta_{па} = 1 - N_а/N_к$	$\eta_{па}$ — КПД перемещения самого автомобиля
11	$\eta_а = N_г/N_к$	—
12	$\eta_{па} = m_г g\psi/(mg\psi + W_в v^2)$	—
13	$N_{г\,ср} = N_{к\,ср}\eta_{па}$	—
14	$\eta_а = \eta_i\eta_м\eta_{тр}\eta_{па} = \eta_e\eta_{тр}\eta_{па} = \eta_{су}\eta_{па}$	η_e — эффективный КПД двигателя; $\eta_{су}$ — КПД силовой установки автомобиля
15	$\eta_{су} = N_к/(q\rho G)$	—
16	$K_v = \lvert v_{ср} - v_{ср\,б}\rvert/v_{ср\,б}$	K_v — поправочный коэффициент; $v_{ср}$ — средняя скорость проезда по маршруту; $v_{ср\,б}$ — базовая (заранее установленная) величина средней скорости; $\lvert v_{ср} - v_{ср\,б}\rvert$ — модуль отклонения средней скорости от ее базового значения
17	$\eta_а = N_г K_v/q\rho G = N_{гп}/q\rho G$	$N_{гп}$ — полезная мощность, затрачиваемая на перемещение полезного груза
18	$N_{к\,ср} = A_к/T$	—
19	$N_{г\,ср} = N_{к\,ср}\eta_{па}$	—
20	$\Psi_{ср} = (N_{к\,ср} - W_в v_{ср}^3 10^{-3}/mgv_{ср}10^{-3}$	—
21	$\eta_{па} = m_г g\psi_{ср}/(mg\psi_{ср} + W_в v_{ср}^2)$	—
22	$N_{гп\,ср} = N_{г\,ср} K_v$	—
23	$\eta_{а\,ср} = N_{гп\,ср}/q\rho G_{ср}$	—



Структурная схема автомобиля:

N_i — индикаторная мощность двигателя; η_i — индикаторный КПД двигателя; $N_т$ — тепловые потери мощности; N_e — эффективная мощность двигателя; $N_м$ — мощность механических потерь в двигателе; $\eta_м$ — механический КПД двигателя; $N_{тр}$ — теряемая мощность в трансмиссии; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии

леса. Именно к их входу подается мощность $N_к$, а на выходе функционирует мощность $N_г$. Причем $N_а$ — мощность, теряемая в этом звене.

Таким образом, закон изменения КПД автомобиля может быть представлен в виде формулы № 14. При этом входящий в нее показатель $\eta_{су}$ характеризует степень рациональности использования первичной (тепловой, заключенной в топливе) энергии при превращении ее в механическую энергию и передаче к ведущим колесам. Поэтому формула для $\eta_{су}$ должна иметь вид формулы № 15.

Таковы общие соображения. Если их конкретизировать то, например, величины $N_г$, $N_з$ и, следовательно, $\eta_а$ при движении какого-то определенного автомобиля в реальных дорожных условиях зависят от его скорости.

Теперь о сопоставимости результатов оценки функционирования конкретного автомобиля.

Очевидно, что скорость движения по маршруту должна быть равна заданной и не вся фактически выполненная им работа по перемещению полезного груза должна считаться полезной. Эту работу следует учитывать в полном объеме лишь тогда, когда она выполнена за точно заданное время. Если же такого нет, то, следовательно, нужно вводить поправочный коэффициент (формула № 16). Тогда формула для расчета КПД автомобиля (формула № 14) превращается в формулу № 17.

Какой же вывод следует из сказанного выше? Он простой. Если средняя скорость автомобиля заранее задана (базовая), то необходимо, сообразуясь с дорожной обстановкой, каждый раз выбирать такой режим движения, чтобы в результате проезда по маршруту эта скорость в точности соответствовала заданной, а расход топлива был бы как можно меньшим. Только тогда КПД автомобиля, определяемый по формуле № 14, и по величине которого оценивается в целом функционирование автомобиля, может достигать максимально возможного значения.

Для реализации предлагаемого подхода к оценке функционирования автомобиля с помощью энергетических показателей комплект аппаратуры должен содержать как минимум пять устройств: указатель (индикатор) мгновенного (текущего) расхода топлива; датчики расхода топлива, скорости движения автомобиля (частоты вращения ведущих колес), силы (крутящего момента) на ведущих колесах автомобиля и электронный блок регистрации, обработки и отображения данных, снабженный датчиком времени.

Такая аппаратура должна быть способна: регистрировать, рассчитывать и отображать на дисплее мгновенный расход топлива, а также итоговые (средние) значения показателей функционирования автомобиля. В том числе по пройденному пути ($S = \int_0^T v dt$), времени движения $T = \int_0^T dt$, средней скорости движения ($v_{ср} = S/T$), текущему $Q = \int_0^T G dt$ и среднему ($G_{ср} = Q/T$) расходам топлива; текущим значениям работы ($A_к = \int_0^T N_к dt$) и мощностей $N_{к\,ср}$, $N_{г\,ср}$ и $N_{гп\,ср}$ (формулы № 18, 19 и 22); значениям коэффициентов $\Psi_{ср}$ (формула № 20), $\eta_{па}$ (формула № 21) и $\eta_{а\,ср}$ (формула № 23).

Данный комплект, установленный на автомобиле, позволит непрерывно (оперативно) контролировать величины расхода топлива, оценивать правильность выбора режима движения в конкретных дорожных условиях и, в случае необходимости, воздействием на соответствующие органы управления переходить на более экономичный режим движения. Кроме того, с его помощью можно получать данные не только о том, на какое расстояние перемещен объект перевозки и с какой скоростью, но и о том, какая и с какой производительностью была совершена полезная работа, каковы при этом затраты топлива и КПД автомобиля, а следовательно, и энергетическая эффективность его функционирования.

Рассмотрим пример.

Пусть по заданному маршруту двигался грузовой автомобиль, для которого известны: снаряженная масса (4500 кг); масса груза (6000 кг); аэродинамический фактор $W_В$ (3,0 Н · с^2/м^2); удельная теплота сгорания (теплотворная способность топлива) q (12,22 кВт · ч/кг); плотность топлива ρ (0,74 кг/л) и средняя скорость движения $v_{ср\,б}$ (50 км/ч). Автомобиль прошел путь S = 100 км за время t = 2 ч. При этом текущий расход топлива Q = 31,5 л, а текущее значение работы $A_к$ = 73,4 кВт · ч. Аппаратура подсчитала: $v_{ср}$ = 50 км/ч (13,89 м/с), K_v = 1; $G_{ср}$ = 15,75 л/ч; $N_{к\,ср}$ = 36,7 кВт; $\Psi_{ср}$ = 0,02; $\eta_{па}$ = 0,446; $N_{г\,ср}$ = 16,37 кВт; $N_{гп\,ср}$ = = 16,37 кВт; $\eta_{а\,ср}$ = 0,115.

Если результаты ($\eta_{а\,ср}$) применительно к другому автомобилю окажутся лучше, то это сигнал и для производителя данного АТС, и для его потребителя.

На практике применение аппаратуры и рассмотренных выше оценочных показателей функционирования автомобиля может дать многое.

Во-первых, повысится уровень сервисных услуг для водителя. Пользуясь аппаратурой, он может контролировать текущий расход топлива и объективно оценивать конечный (итоговый) результат своей деятельности по управлению автомобилем. То есть более эко-

номично управлять автомобилем, что, в конечном счете, должно привести к существенному повышению эффективности функционирования автомобиля.

Во-вторых, появляется возможность предоставлять транспортные услуги в виде реальной, т. е. фактически выполненной автомобилем, работы в конкретных условиях перевозочного процесса. Значит, и формировать тариф: плата за транспортные услуги и заработная плата водителя приобретут дифференцированный, более объективный и строгий характер.

В-третьих, по суммарной работе, выполненной автомобилем за определенный период эксплуатации, можно более объективно оценивать долговечность автомобиля, а по фактической производительности — судить о степени использования мощности двигателя.

В-четвертых, по величине фактического расхода топлива можно следить за техническим состоянием автомобиля и решать вопрос о его допуске к выходу на линию.

В-пятых, расход топлива и КПД автомобиля зависят не только от технического состояния автомобиля, но и от качества горючесмазочных материалов и дороги, а также от квалификации водителя. Поэтому в случае увеличения расхода топлива и уменьшения, по сравнению с паспортными данными, КПД автомобиля позволяет в оперативном порядке принимать меры по устранению этих недостатков.

В-шестых, в случае решения проблемы непосредственного измерения выполненной автомобилем работы и затрат на нее топлива отпадет необходимость в довольно громоздких системах учета условий функционирования автомобилей, ибо величины показателей будут формироваться автоматически, в зависимости от конкретных условий выполнения перевозочного процесса каждым автомобилем.

В-седьмых, предоставляется возможность значительно сократить общее число показателей, применяемых на практике для оценки уровня функционирования автомобильного транспорта в целом, так как этот уровень будет полностью определяться фактическими результатами каждого автомобиля в отдельности.

Таким образом, преимущества автомобиля, оснащенного специальной аппаратурой, очевидны. Ее применение позволяет комплексно и объективно оценивать функционирование автомобиля в реальных дорожных условиях. А если учесть, что стоимость аппаратуры не превышает 3—5 % стоимости самого автомобиля, то ее внедрение с экономической точки зрения можно считать вполне оправданным.

УДК 629.14

Большегрузные автопоезда. Проблемы допуска к международным перевозкам

Канд. техн. наук В.А. ТОПАЛИДИ, С.Я. АЛЛАБЕРГАНОВ

ТАДИ

С целью повышения эффективности автоперевозок, сокращения расхода топлива и токсичности отработавших газов на единицу перевозимого груза Швеция и Финляндия с 1998 г. изменили требования к длине и полной массе автопоездов, увеличив эти параметры соответственно до 25,25 м и 60 т. Но сохранили требования Директивы ЕС № 96/53 к нагрузкам на ось. Теперь здесь разрешена эксплуатация автопоездов двух компоновок: первая — в составе трехосного тягача с пятиосным прицепом, выполненным на базе серийного трехосного полуприцепа и двухосной подкатной тележки, вторая — в составе седельно-прицепного автопоезда, к серийному полуприцепу которого присоединяется двухосный прицеп (рис. 1). И те, и другие автопоезда эксплуатируются не только внутри этих стран, но и (по специальным разрешениям) участвуют в международных перевозках. В частности, поставляют груз в Москву и Санкт-Петербург. И последнее не случайно.

В СССР аналогичными автопоездами занимались с 1960-х годов. Их применяли при перевозке хлопка в Средней Азии, зерна на целине и других грузов, а формировали из имеющегося подвижного состава. Правда, допустимая длина этих прицепных и седельно-прицепных автопоездов в те годы не превышала 24 м (см. например, "АП", 1999, № 1).

Более того, в 1986—1988 гг. ВНИИ МВД СССР даже проводило НИР по теме "Изучение возможностей использования прицепов и полуприцепов различных конструкций в составе многозвенных автопоездов (МАП)". (К исследованиям были привлечены ТАДИ, МАДИ, ГКБ по прицепам Минавтопрома и ЦНИАП НАМИ.) В результате к началу 1989 г. была подготовлена первая редакция "Правил допуска к эксплуатации многозвенных автопоездов", систематизировавших опыт разработки таких АТС. (К тому времени 12 типов с тягачами ЗИЛ, МАЗ, КамАЗ, КрАЗ и др. после доработки в ТАДИ конструкции их тормозных систем и тягово-сцепных устройств прошли испытания и были допу-

Рис. 1. Седельно-прицепной автопоезд

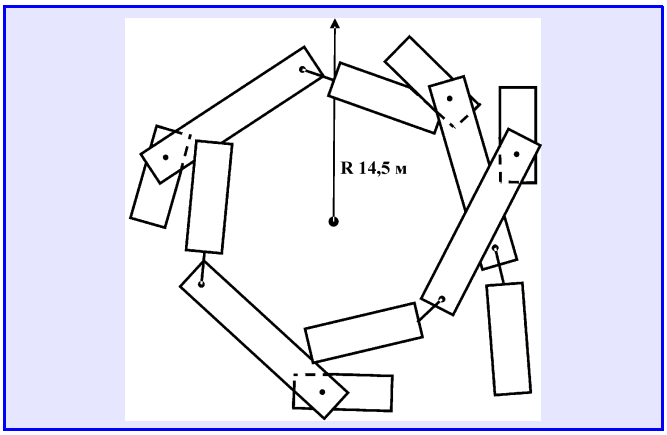


Рис. 2. Стандартный разворотный круг для автопоездов

щены к эксплуатации.) Основным требованием, выполнение которого обеспечивало допуск многозвенных автопоездов к эксплуатации, было выполнение таких же, как для одноприцепного и седельного автопоездов, норм по управляемости и торможению. Но этот проект так и не стал нормативным документом, а был выпущен как перечень рекомендаций (для работников ГАИ) по подготовке к контролю за автопоездами с тремя транспортными звеньями.

С тех пор прошли годы. Однако положение остается прежним: дорожное и транспортное законодательство ни стран СНГ, в том числе России, ни стран ЕС, за исключением Финляндии и Швеции, в отношении МАП, так сказать, молчит. Хотя все понимают: чтобы разгрузить дороги от транспорта и уменьшить загрязнение окружающей среды отработавшими газами, придется переходить, по примеру скандинавов, на автопоезда длиной 25,25 м и полной массой до 60 т. Тем более что сегодня с технической точки зрения этот переход особой сложности не представляет.

Так, современные тягачи с удельной мощностью 6,6—8 кВт/т (9—11 л. с. /т), т. е. мощностью двигателя 400—480 кВт (570—660 л. с), позволяют поддерживать высокую скорость движения большегрузным автопоездам, облегчают управление ими при движении на пересеченной местности и горных дорогах. Иначе говоря, "паровозы", как образно их назвали перевозчики, беспрепятственно вливаются в потоки традиционных автопоездов на автомагистралях, свободно вписываются (рис. 2) в стандартный разворотный круг ⩾15 м, предусмотренный для автопоездов в СНиП "Автомобильные дороги", действующих в странах СНГ. Надо сделать лишь следующие шаги, а если точнее, — устранить существующие в настоящее время три группы ограничений: по геометрическим и массовым параметрам этих АТС; конструктивной их безопасности; эксплуатационным возможностям терминалов, логистических центров.

Рассмотрим их.

Первая группа ограничений, как показывает анализ, включает три позиции.

Во-первых, в странах СНГ до сих пор нет нового стандарта, устанавливающего нормативы на массово-габаритные параметры автомобилей и автопоездов. Прежний ГОСТ 9314—59, который полную массу пятиосного седельного или одноприцепного автопоезда ограничивал 40 т, длину — 20 м, а длину автопоезда с двумя прицепами — 24 м, был отмен еще в СССР.

Во-вторых, подписанное 4 июня 1999 г. в Минске "Соглашение о массах и габаритах транспортных средств, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам государств-участников СНГ" рассматривает только одноприцепные автопоезда длиной не более 20 м. Допустимые же осевые нагрузки на автопоездах в странах ЕС, РФ, Казахстане и Узбекистане показаны на рис. 3 и 4 с учетом того, что на осях, кроме передней тягача, устанавливаются по две пары колес.

В настоящий момент все страны СНГ 80—90 % многозвенных автопоездов составляют из европейского подвижного состава. Поэтому необходимо в срочном порядке пересматривать упомянутое выше "Соглашение" или дополнить его требованиями к новым длинномерным автопоездам. В частности, предусмотреть, что их эксплуатация разрешается только от терминала до терминала по автомагистралям, а это не менее четырех полос движения — по две в каждую сторону; сохранить модульный принцип; длину таких автопоездов принять не менее 25,25 м, так как этого требуют параметры европаллетов; установить требования к внешнему и внутреннему радиусам поворотов длинномерного автопоезда.

И, в-третьих, какими должны быть нагрузки на оси, решать, конечно, дорожным ведомствам. В то же время непонятно, почему до сих пор при ограничении нагрузки для различных тележек прицепов и полуприцепов не учитывается установка на них пневмоподвесок, т. е. разработчики нормативов ориентируются на старые нормы, которые предназначены для автотранспортных средств с рессорной подвеской. И если это учесть, то, скажем, Россия и Казахстан смогут ограничить полную массу седельных автопоездов не 38, а 40 т. (Кстати, напомним, что такие ограничения были установлены в ГОСТ 9314—59.)

Страны	Полная масса, т, седельно-прицепного автопоезда		Полная масса, т, прицепного автопоезда	
	по действующим нормативам	по сумме допустимых осевых нагрузок	по действующим нормативам	по сумме допустимых осевых нагрузок
Финляндия Швеция	60,0	68,5	60,0	68,0
Российская Федерация	56,0	63,0	44,0	63,5
Казахстан	56,0	64,5	44,0	65,0
Узбекистан	58,0	64,5	44,0	65,0

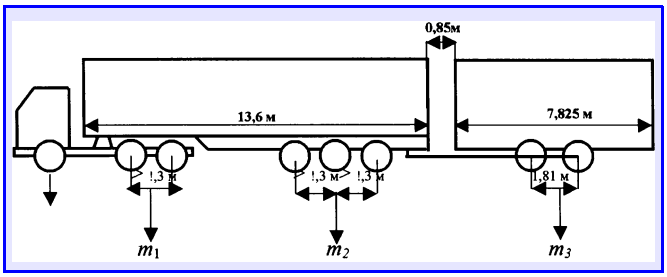


Рис. 3. Нормативные нагрузки на заднюю тележку тягача (страны ЕС — 18 т; Россия, Казахстан и Узбекистан — 16 т), трехосную тележку полуприцепа (страны ЕС, Казахстан, Узбекистан — 24 т; Россия — 22,5 т) и на тележку двухосного прицепа (страны ЕС — 20 т; Россия, Казахстан, Узбекистан — 18 т) седельно-прицепного автопоезда в составе седельного тягача, трехосного полуприцепа и двухосного прицепа

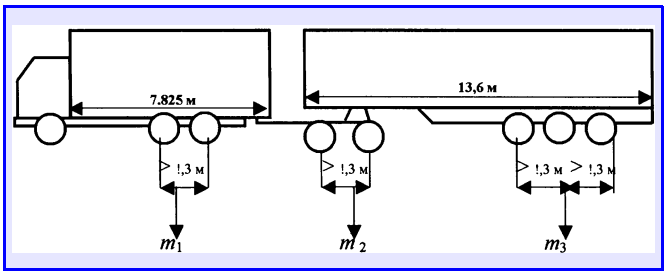


Рис. 4. Нормативные нагрузки на заднюю тележку тягача (страны ЕС — 18 т; Россия, Казахстан, Узбекистан — 16 т), переднюю двухосную (страны ЕС — 18 т; Россия, Казахстан, Узбекистан — 16 т) и заднюю трехосную (страны ЕС, Казахстан, Узбекистан — 24 т; Россия — 22,5 т) тележки прицепного автопоезда в составе трехосного тягача и пятиосного прицепа

Также неясен и принцип нормирования полной массы автотранспортного средства: она заведомо ниже получаемой на основе суммирования допустимых нормативных нагрузок на его оси (см. таблицу, рис. 3 и 4).

Вторая группа ограничений связана с требованиями безопасности к конструкции рассматриваемых автопоездов. И здесь много неясностей.

1. Непонятно, как сертифицировать конструкции автопоездов по условиям Приложения 10 к Правилу № 13 ЕЭК "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий M, N и O в отношении торможения". Ведь в Приложении 10 нормы по совместимости установлены только для автопоездов с двумя транспортными звеньями, т. е. автопоездов, состоящих из тягача и прицепа или полуприцепа. Поэтому доработка данного Приложения просто необходима. Причем для объективности оценки совместимость подвижного состава седельно-прицепных автопоездов в отношении торможения целесообразно контролировать путем дорожных испытаний, рассматривая автопоезд как новое единое транспортное средство.

2. Несомненно, "паровозам" будет значительно сложнее укладываться в нормативы ГОСТ Р 52302—2004 по управляемости и устойчивости движения АТС. Решить эту проблему помогут внедрение в их конструкцию современных, типа ESP, систем динамической стабилизации движения.

3. Обеспечить быстродействие и синхронность работы пневматического тормозного привода на прицепных звеньях можно с помощью ускорительных клапанов, как это было разработано в ТАДИ: они доказали свою эффективность на автопоездах, упомянутых ранее. Все дело в том, что автоперевозчики стран СНГ из-за плохого состояния дорог еще побаиваются покупать автопоезда, оборудованные электропневматическим тормозным приводом с электронным управлением (EBS). И все-таки представляется, что оснащение таких автопоездов EBS должно стать обязательным.

4. Учитывая, что в составе автопоезда имеется дополнительный прицеп, двигатель и трансмиссия тягача, тягово-сцепные устройства тягача и полуприцепа будут более нагружены, поэтому, естественно, режимы их контроля должны быть ужесточены. То есть фирмам-изготовителям тягачей и прицепной техники придется в инструкциях указывать дополнительные режимы и операции по техническому обслуживанию в случаях, если тягач и полуприцеп будут работать в составе многозвенного автопоезда или с длинным 40-тонным прицепом.

Практически во всех странах Европы и СНГ не установлены нормативы на проведение технического осмотра в отношении контроля неравномерности тормозных сил на осях последнего прицепа седельно-прицепного АТС. Но данные требования были в старом ГОСТ 25478—91, а теперь содержатся в ГОСТ РУ 1057:2004 "АТС. Требования безопасности к техническому состоянию" (см. "АП", 2006, № 1). И очень важно, чтобы такие АТС были оснащены встроенными системами контроля траекторной и курсовой управляемостью, эффективности и устойчивости при торможении как отдельных их звеньев, так и транспортного средства в целом. Тем более что опытные образцы этих систем уже есть. (Например, в ТАДИ разработана, прошла испытания и хорошо зарекомендовала себя одна из таких систем.)

Третья группа ограничений связана с трудностями приема большегрузных автопоездов на существующих терминалах, логистических центрах. Но они преодолимы. Просто требуется расширение или реконструкция терминалов, использование проездных постов для погрузки—разгрузки "паровозов", мест ожидания и т. п.

Как видим, проблемы, связанные с автопоездами большой грузоподъемности, носят не столько технический, сколько организационный характер. И чем скорее они будут решены, тем лучше для дела. Ведь автомобильные "паровозы", имеющие полезный объем до 150 м^3, — транспорт, который вполне конкурентоспособен с железнодорожным транспортом при перевозках на расстояния не только до 2000 км, как традиционные грузовые АТС, а и до 4000—5000 км.

УДК 621.775.8

Комплексная технология переработки чугунной стружки, загрязненной СОЖ

В.В. ПОТАПОВ, В.А. ФИЛИН

ОАО "ГАЗторресурс", Нижегородский АСУ

Чугунная стружка, образующаяся на автомобилестроительных предприятиях в значительных объемах, представляет собой материал, который крайне желательно использовать в качестве шихты при выплавке чугуна: она имеет химический состав, который позволяет заменить ею дорогостоящий передельный чугун, применяемый в литейном производстве.

Однако на практике все сложнее. Во-первых, чугунная, как и любая другая металлическая стружка, формирующаяся в процессе механической обработки деталей, всегда загрязняется отходами смазочно-охлаждающих жидкостей, без удаления которых прямое ее использование в литейном производстве невозможно. Во-вторых, она находится в сыпучем состоянии, что затрудняет ее доставку и загрузку в плавильные агрегаты. В-третьих, при погрузочно-разгрузочных операциях часть ее неизбежно теряется, загрязняя окружающую среду. В-четвертых, при складировании в больших объемах она саморазогревается и окисляется, спекаясь в куски оксидов железа низкой плотности, не пригодные к дальнейшему использованию. В-пятых, ее саморазогрев сопровождается интенсивным испарением СОЖ со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Таким образом, чугунная стружка — чрезвычайно ценный и, одновременно, экологически опасный отход. Поэтому проблемой ее рециклинга давно уже занимаются и ученые, и практики. Правда, во времена плановой экономики это делалось в директивном порядке, т. е. неэффективно. В результате больших успехов ни те, ни другие пока не добились: все существующие в настоящее время методы переработки стружки экологически несовершенны, недостаточно эффективны и не дают возможности полного ее возврата в производственный цикл. Но сейчас, когда действуют законы рыночной экономики, положение начинает меняться. В частности, для руководителей предприятий стало очевидным, что в условиях непрерывного роста цен на продукцию металлургических заводов рециклинг стружки становится одним из важнейших факторов, снижающих себестоимость выпускаемой продукции. Другими словами, серьезным плюсом в конкурентной борьбе. И ОАО "ГАЗ" — не исключение. Свидетельство тому — организованный здесь комплекс работ по исследованию, созданию и внедрению в производство экологически безопасной технологии переработки и утилизации чугунной стружки.

Результаты этих работ, думается, должны представлять практический интерес для всех предприятий автомобильной промышленности. Но не только: они многое дают и для теории. Например, в ходе исследований установлено, что из пяти перечисленных выше проблем основной, возникающей при утилизации чугунной стружки, следует считать то, что до 20 % ее массы составляет отработавшая СОЖ, т. е. смесь воды, масла, разложившихся эмульгирующих и стабилизирующих органических добавок. Именно остатки СОЖ делают стружку экологически опасной и препятствуют ее дальнейшему использованию. Поэтому специалисты ГАЗа и ОАО "ГАЗторресурс" и занялись данной проблемой в первую очередь. Причем решали ее в несколько этапов.

Первый из них начался с анализа стружки, образующейся в различных подразделениях автозавода. Оказалось, что содержание СОЖ в стружке непосредственно после механообработки чугунных деталей во всех подразделениях практически одинаково и составляет 20—25 %. Отсюда сделали вывод: нужно разрабатывать одну, общую для всего предприятия технологию "обеСОЖивания" стружки.

Затем проверили несколько вариантов такой технологии, начав с самого простого — отстаивания. Однако оказалось (рис. 1), что таким методом содержание (Ψ) СОЖ за 6 ч можно снизить не более чем до 8—10 %. Причем увеличение продолжительности t отстаивания сверх 6 ч на концентрации СОЖ оказывается весьма незначительно. Хуже того, состав СОЖ после отстаивания становился более "вредным": если в стружке, забираемой от станка, масла было ~4 %, то после отстаивания его доля повысилась до 33 %. Что вполне объяснимо: у воды коэффициент адгезии к металлу значительно меньше, чем у масла.

Второй из проверенных вариантов уменьшения содержания СОЖ в стружке — отжим с одновременным брикетированием ("холодное" прессование) при давлении $p_{пр}$, равном 200 МПа (2000 кгс/см^2). В результате была построена (рис. 2) зависимость содержания СОЖ в брикетах ($\Psi_{бр}$) от среднего содержания СОЖ в исходной стружке $\Psi_с$.

Как видно из рисунка, при исходном состоянии стружки — в момент, когда доля содержащейся в ней СОЖ составляет 20 % и более, "холодное" прессование при $p_{пр}$ = 200 МПа фактически дает тот же эффект, что и отстаивание в течение 6 ч, т. е.

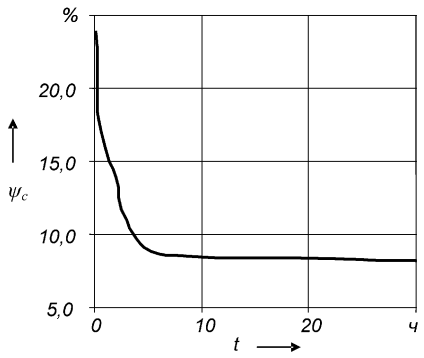


Рис. 1. Зависимость концентрации СОЖ в стружке от времени отстаивания

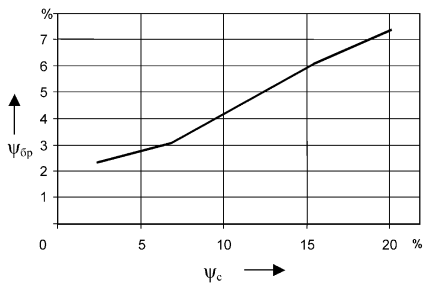


Рис. 2. Зависимость концентрации СОЖ в брикетах от исходной ее концентрации в стружке

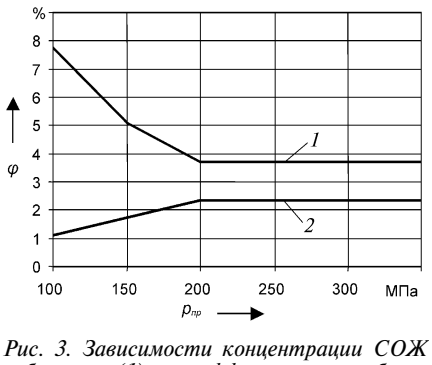


Рис. 3. Зависимости концентрации СОЖ в брикете (1) и коэффициента ее обжатия (2) от давления прессования при $\Psi_с$ = 8,7 %

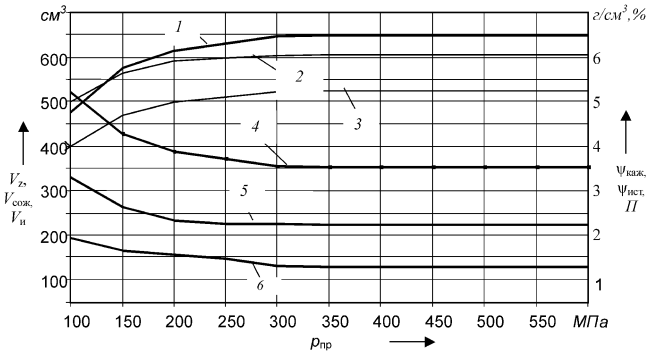


Рис. 4. Зависимость плотности и пористости брикетов от давления прессования:

1 — объем чугуна в брикете; *2* — истинная плотность брикета; *3* — кажущаяся плотность брикета; *4* — общая пористость брикета; *5* — объем СОЖ в брикете; *6* — объем воздуха в брикете

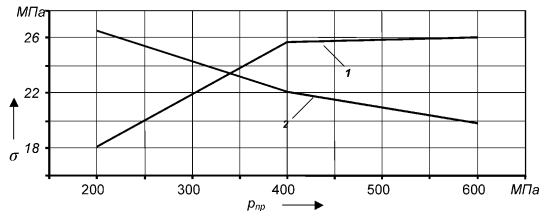


Рис. 5. Зависимость механической прочности брикета (1) на сжатие и его осыпаемости (2) от давления холодного прессования

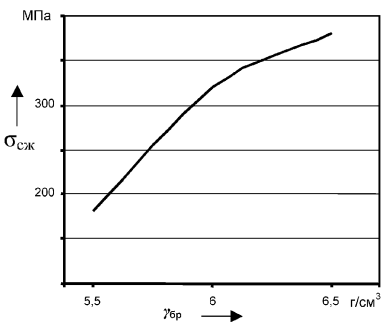


Рис. 6. Зависимость прочности брикета на сжатие от их плотности

в стружке остается ~8 % СОЖ. Если же прессование выполняется после отстаивания до Ψ = 8 %, то содержание СОЖ при $p_{пр}$ = 200 МПа снижается до 3,7 %. Оно, как видно из рис. 3, обеспечивается именно при $p_{пр}$ = 200 МПа. Дальнейшее же увеличение $p_{пр}$ никакого эффекта не приносит.

Установлено, что водная составляющая СОЖ гораздо легче удаляется из стружки, чем масляная. Так, при варианте, который иллюстрирует рис. 3, исходное содержание СОЖ в стружке было равно 17,8 %, из которых 14,8 % составляла вода и 3 % — масло. После отстаивания доля СОЖ снизилась до 8,7 %, из них на воду пришлось 5,8 %, а на масло — 2,9 %. Наконец, после прессования в ней осталось 3,9 % СОЖ, из которых воды — 1,2, а масла — 2,7 %.

Интересными получились и результаты исследования плотности и пористости *Н* брикетов, получаемых "холодным" прессованием под давлением $p_{пр}$ прессования (рис. 4). Например, установлено, что при давлениях от 200 до 300 МПа (от 2000 до 3000 кгс/см^2) плотность брикетов из-за снижения воздушной их пористости растет, но отжим жидкости при этом не наблюдается. Если же давление прессования повышать и дальше, то и плотность, и механическая прочность брикетов не меняются, что объясняется так называемым расклинивающим эффектом, или эффектом Дерягина. В частности, исследования брикетов на разрушающие нагрузки показали, что при принятых давлениях прессования максимальные значения механической прочности на сжатие ($\sigma_в$) составляют (кривая *1* на рис. 5) 2—2,5 МПа (20—25 кгс/см^2), а показатель *О* осыпаемости (кривая *2*) — 26,3—23,1 %. То есть на первом этапе исследований брикеты содержали до 4 % СОЖ и имели низкую механическую прочность и высокую осыпаемость. Такие брикеты невозможно утилизировать в качестве шихты. В связи с чем второй этап исследований посвятили термической обработке, цель которой — полное удаление СОЖ из брикетов. Для этого брикеты нагревали до различных температур в диапазоне от 523 до 1273 К (от 250 до 1000 °С), меняя экспозиции от 5 до 60 мин. В итоге установлено: практически полное удаление СОЖ из брикета происходит при его нагревании до температуры 1073 К (800 °С) и выше и выдержке при этих температурах в течение 15 мин. В таких условиях жидкость превращается в пар, вследствие чего поры в брикете увеличиваются, он разрыхляется, остатки СОЖ выходят из него. И сразу же сгорают, что, к сожалению, ведет к образованию значительных количеств газообразных веществ, в том числе токсичных.

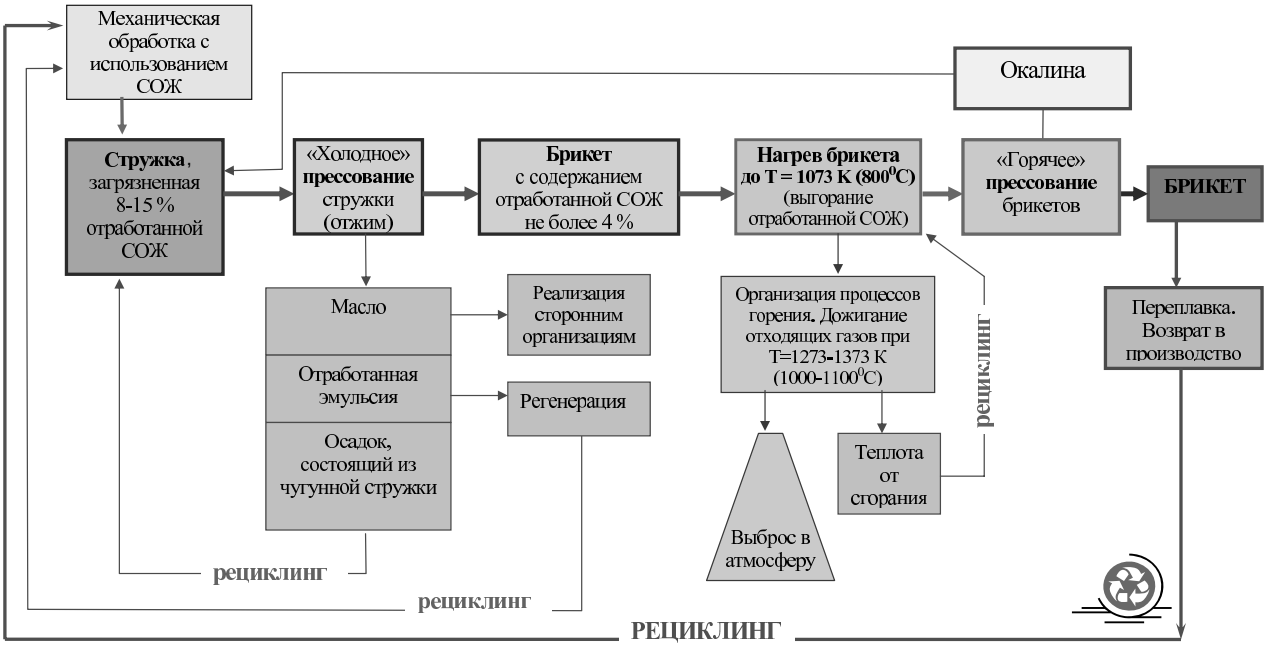


Рис. 7. Схема комплексной экологически безопасной технологии переработки чугунной стружки

Однако проблему их нейтрализации на ГАЗе решили. И сделали это с помощью проходной печи оригинальной конструкции, в состав которой входят две камеры сгорания — основная, где выполняется низкотемпературная (при 1173 К, или 900 °С) обработка брикетов, и дополнительная, предназначенная для дожигания продуктов сгорания СОЖ за счет подачи дополнительного количества воздуха. Что позволяет максимально сократить количество вредных примесей, поступающих в атмосферу, не нанося тем самым экологического ущерба окружающей среде. Кроме того, содержащиеся в СОЖ нефтепродукты, участвуя в горении, снижают расход газа в основной камере сгорания на ~50 %.

Очевидно, что освободившиеся от СОЖ, но ставшие рыхлыми брикеты, чтобы их можно было утилизировать в металлургическом производстве, нужно уплотнить, т. е. повторно обработать прессованием. Поэтому третий этап исследований был направлен на определение оптимальных параметров "горячего" прессования брикетов.

Его результаты показали: при $p_{пр} > 300$ МПа (3000 кгс/см^2) и $T_{пр} > 1073$ К (800 °С) конечная плотность $\gamma_{бр}$ брикетов превышает 6 г/см^3, что обеспечивает предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$) более 300 МПа, или 3000 кгс/см^2 (рис. 6), и осыпаемость менее 2 %.

Удовлетворяет металлургическим требованиям, которые предъявляются к брикетам, направляемым на переплавку, и тепловая их прочность. Такие брикеты не только по своему виду, но и составу приближаются к отливкам из чугуна и могут быть направлены на утилизацию в качестве добавки в шихту при выплавке чугуна в собственном производстве предприятия. Тем более что экспериментальные плавки в вагранке и индукционных тигельных печах показали: если до 80 % шихты — брикеты чугунной стружки, то качество получаемого металла не ухудшается, а химический состав и механические свойства полученных образцов чугуна полностью соответствуют требованиям, регламентируемым ГОСТами.

Итогом выполненных на ГАЗе исследований стала комплексная технология (рис. 7), которая предусматривает рециклинг образующихся отходов переработки стружки с возвратом ее в производство, утилизацию теплоты, выделяющейся при сгорании природного газа и паров СОЖ, а также обезвреживание газообразных отходов. Более того, на автозаводе разработана и внедрена линия "горячего" брикетирования, которая позволяет перерабатывать и возвращать в производство ежегодно свыше 10 тыс. т отходов металлообработки.

И последнее. Затраты, связанные с внедрением линии, составили 37,5 млн руб.; окупались они за 10 месяцев. Ежегодная чистая прибыль — 55 млн руб.

Эти цифры, как говорится, в комментариях не нуждаются.

УДК 621.74.06.65.011.56

Средства и методы автоматизации технологических процессов литейного производства

А.А. СИРОТСКИЙ

МГТУ "МАМИ"

Технологические процессы литейного производства, если их сравнить, например, с процессами механообработки и сборки, имеют ряд существенных особенностей.

Во-первых, они представляют собой широкий технологический цикл (плавка металла, приготовление формовочных смесей, изготовление стержней и форм, сборка форм, заливка, охлаждение, выбивка, регенерация смесей, финишная обработка готовых отливок, в том числе обрубка, очистка, контроль). Во-вторых, при их реализации действует ряд только им присущих производственных факторов — таких, как перепады температур в цехах, вибрация, повышенная запыленность воздуха. В-третьих, при их осуществлении используется мощное и массивное оборудование. Поэтому и автоматизация данных процессов имеет особенности, главная из которых заключается в том, что используемые в АСУ микропроцессорные системы и ЭВМ, если их устанавливать непосредственно в литейных цехах, очень быстро теряют работоспособность. Отсюда вывод: АСУ литейным цехом нужно строить как многоуровневую иерархическую систему с резервированием (дублированием) их наиболее ответственных звеньев. Другими словами, при ее построении необходимо соблюдать принципы "распределенность", "иерархичность" и "резервирование". При этом под термином "распределенность" понимается как пространственное (территориальное) разделение элементов системы, так и распределение функций и задач, выполняемых каждым таким элементом; под термином "иерархичность" — то, что каждая оконечная система нижнего уровня решает только одну локальную задачу управления, а возможно большее число функций систем нижнего уровня передается системам верхнего уровня; под термином "резервирование", как и в любых других ответственных системах, — наличие дублирующих устройств, способных самостоятельно и без потерь принимать на себя функции управления при выходе из строя основной системы.

И еще одно предварительное замечание.

Понятие "автоматизация производства" очень часто ассоциируется с масштабными компьютерными системами, имеющими в своем составе подсистемы планирования, административного управления предприятием или цехом, а также инженерного управления технологическими и производственными процессами. И это в общем случае правильно. Однако на практике решение задачи по полной и комплексной автоматизации технологического цикла приходится начинать с систем на низших уровнях управления (уровне технологических модулей). Чем, собственно, и занимаются в настоящее время многие отечественные предприятия. Поэтому ниже и рассматривается АСУ даже не литейным цехом, а его участком.

Структурная схема такого участка, имеющего трехуровневую систему управления, показана на рис. 1. Как видим, на первом ее уровне располагаются технологические модули

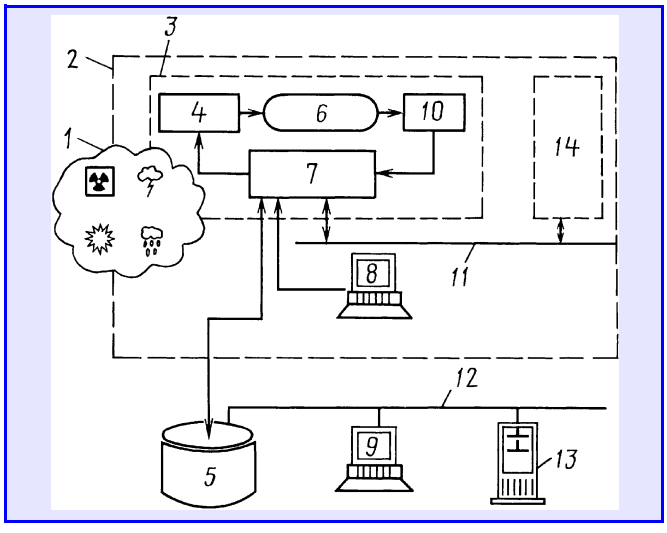


Рис. 1. Структурная схема сегмента системы автоматического управления участком литейного производства:
1 — условия промышленной среды; *2* — первый и второй уровни управления; *3* — ТМ$_1$; *4* — органы воздействия; *5* — OPC-сервер; *6* — объект управления; *7* — ПЛК; *8* — система программирования и отладки; *9* — рабочее место оператора; *10* — датчики; *11* — сеть "fieldbus"; *12* — локальная сеть; *13* — службы АСУ верхнего (третьего) уровня; *14* — ТМ$_n$

$ТМ_1 \div ТМ_n$, каждый из которых представляет собой совокупность технологического оборудования и системы управления, реализующие заданный технологический процесс. Причем надо иметь в виду, что автоматизацию следует начинать с тех технологических процессов, которые могут быть автоматизированы именно в виде технологических модулей, пригодных в последующем к объединению в единое автоматизированное производство. Это прежде всего процессы смесеприготовления, изготовления литейных форм (прессование), установка стержней, сборка литейных форм.

Каждый такой технологический модуль первого уровня управления состоит из технологического объекта (единицы оборудования), программируемого логического контроллера (ПЛК), датчиков и электроприводных исполнительных устройств, а все ($ТМ_1$—$ТМ_n$) модули объединяются между собой промышленной сетью и через нее соединеняются с ЭВМ второго уровня управления, выполняющей функции системы программирования и отладки. Данная ЭВМ в соответствии с принципами "распределенность" и "иерархичность" располагается на безопасном расстоянии от технологического оборудования.

Третий уровень управления составляет OPC-сервер, необходимый для связи ПЛК с системами диспетчерского управления и базами данных, а также рабочее место оператора АСУ и ЭВМ служб АСУ верхнего уровня. Все они территориально отдалены от промышленной зоны, т. е. надежно защищены от воздействия вредных производственных факторов.

Такова общая картина. Чтобы ее конкретизировать, структурную организацию технологических модулей рассмотрим на конкретном же примере. Скажем, на примере участка приготовления формовочных смесей. Уже хотя бы потому, что автоматизация процесса приготовления формовочных смесей не только повышает культуру производства и снижает количество ручного труда, но и улучшает качество смесеприготовления за счет совершенствования алгоритмов работы смесеприготовительного оборудования. В частности, путем изменения скорости перемешивания и направления движения катков в смесителе, коррекции этих параметров в зависимости от текущих показателей качества формовочной смеси во время ее приготовления и т. д.

Чтобы убедиться в этом, представим (рис. 2) смесеприготовительную установку в виде автоматизированного технологического модуля *1*, состоящего из технологического объекта *2*, в состав которого входят дозаторы Y_1, Y_2, ..., Y_n компонентов, приводы мешалки Z_1 и выгрузки Z_2 готовой смеси, наборы X_1, X_2, ..., X_n датчиков (X_1 — датчик уровня, X_2 — датчик массы, X_3 — датчик влажности, X_4 — датчик температуры и т. д.), а также программируемый логический контроллер *3*, который управляет приводом мешалки, дозаторами загрузки компонентов и выгрузки готовой формовочной смеси.

Такая смесительная установка чаще всего работает по следующему алгоритму.

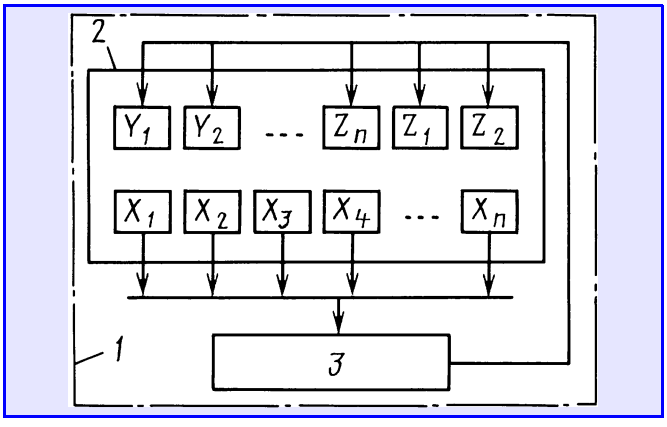


Рис. 2. Структурная схема автоматизированного технологического модуля приготовления формовочной смеси:
1 — технологический модуль; *2* — технологический объект; *3* — ПЛК

Открывается дозатор Y_1, и емкость заполняется первым компонентом. Причем заполняемость может быть проконтролирована или по уровню (датчик X_1), или по массе (датчик X_2), или по времени (без датчиков). Затем (поочередно) открываются дозаторы Y_2, Y_3, ..., и в емкость поступают остальные компоненты. После заполнения емкости начинается перемешивание компонентов мешалкой Z_1.

Однако, в принципе, возможны и другие алгоритмы. Но в любом случае смесеприготовительная установка работает по жесткой программе, заложенной в контроллер. Следовательно, управление качеством приготовляемых смесей сводится, по существу, к подбору или разработке соответствующей программы.

Управляющие программы строятся по одному принципу и состоят из трех блоков управления дозаторами и мешалкой, а также выгрузки смеси. Но каждый из блоков имеет несколько вариантов функционирования, поэтому число вариантов получается довольно большим — оно равно числу возможных сочетаний вариантов блоков.

Так, у блока управления дозаторами для каждого из компонентов возможно управление по любому из трех критериев (уровню, массе и времени открытия дозатора); у блока управления мешалкой Z_1 — по заданному времени работы, направлению вращения перемешивающих катков и скорости их вращения; у блока выгрузки смеси — по времени перемешивания и достижению заданных показателей температуры и влажности с учетом времени перемешивания.

Разумеется могут быть и другие варианты реализации программного управления смесеприготовительной установкой. Например, совсем необязательно начинать перемешивание смеси только после загрузки всех ее компонентов. В конкретных условиях более выгодными могут оказаться и один из таких алгоритмов, как "загрузка части компонентов—предварительное их перемешивание—загрузка остальных компонентов—окончательное перемешивание—выгрузка смеси", или работа по одному из рассмотренных вариантов, но с коррекцией режимов приготовления смеси в зависимости от показаний датчиков X_1—X_4 и т. д.

Таким образом, есть все основания утверждать: автоматизация смесеприготовительного оборудования с применением ПЛК позволяет решить многие наболевшие проблемы литейного производства. В том числе реализовать практически любой алгоритм перемешивания смеси без непосредственного участия человека; готовить на одном и том же оборудовании смеси различной рецептуры путем изменения констант в программе управления ПЛК или замены управляющей программы с рабочего места оператора АСУ; непрерывно контролировать основные показатели (температура, влажность и др.) приготовляемой смеси с их регистрацией, а при необходимости — и с адаптивной коррекцией процесса (функции мониторинга, автоматизированных измерений, статистики, накопления базы данных о предыдущих параметрах управления и результатах).

Как следует из сказанного выше, для реализации АСУ смесеприготовления необходимо решить четыре основные технические задачи: выбрать наиболее подходящий ПЛК; подобрать и согласовать с ПЛК датчики; согласовать приводы смесеприготовительной установки с ПЛК; приобрести или разработать программное обеспечение.

До недавнего времени решение каждой из перечисленных задач представляло собой довольно серьезное дело. Однако современные технические средства автоматизации открыли возможность решать их применительно к любому технологическому оборудованию. Нужно лишь иметь в виду, что наиболее перспективными практикой признаны ПЛК сканирующего типа, отвечающие стандарту IEC-61131 Международного электротехнического комитета (МЭК). Дело в том, что системы, отвечающие требованиям IEC-61131, обеспечивают полную программную совместимость и свободу программирования систем открытой архитектуры, что практически позволяет иметь единую среду разработки для всех ПЛК, даже разных производителей ("Сименс", "Омрон" и т. д.). То есть все про-

граммы управления ПЛК, в частности, для рассмотренного выше технологического модуля управления смесеприготовлением, пишутся в единой среде разработки на языках стандарта IEC-61131. Отсюда следует, что существовавшие ранее проблемы разработки аппаратно-программного обеспечения в настоящее время могут быть успешно решены.

Правда, определенной сложностью могут стать выбор и согласование датчиков контроля. Однако новые датчики (у нас, представленные, к сожалению, в основном, только зарубежными производителями) отвечают требованиям, предъявляемым к датчикам, устанавливаемым на технологическое оборудование в литейных цехах. Так, для построения того же автоматизированного технологического модуля смесеприготовления в качестве датчика уровня может быть применен токовый датчик уровня "Беро" или CLS100 фирмы "Пойнтек". Причем последний пригоден для измерения уровня сыпучих материалов, суспензий и жидкостей, способен работать при температурах от 233 до 373 К (от −40 до +100 °С) и давлениях до 1 МПа (10 кгс/см^2). При этом его разрешающая способность составляет 2 мм. У него также очень высокая степень защиты от агрессивной внешней среды и механических воздействий.

Для специалистов, занимающихся практической автоматизацией литейного производства, будет, думается, небезинтересен и пример, касающийся использования ПЛК для автоматизации процессов изготовления литейных форм.

Как известно, наиболее перспективным способом уплотнения формовочных смесей считается (и не без оснований) их прессование активной многоплунжерной головкой. Однако распространенность данного технологического процесса небольшая: многие убеждены, что для управления такими головками нужны слишком сложные АСУ. Но так ли это на самом деле?

Систему управления, как гласит теория, можно назвать сложной, если, во-первых, для автоматизации процесса необходимо много аппаратных ресурсов; во-вторых, на выбор, сопряжение и калибровку датчиков контроля состояния объектов затрачивается много времени и труда; в-третьих, программирование системы и отладка алгоритмов управления требуют таких же затрат. Но реализация простейшего принципа автоматизации активной многоплунжерной головки, показанного на рис. 3, не связана ни с первым, ни со вторым, ни с третьим.

Так, из рис. 3, *а* видно, что многоплунжерную активную головку с точки зрения ее автоматизации можно представить состоящей из нерегулируемого насоса *1*, подающего по трубопроводу *2* жидкость к гидроцилиндрам плунжеров *4*, и ряда ($Y_{11} \div Y_{mn}$) электромагнитных клапанов *3* управления подачей этой жидкости. Датчики контроля состояния здесь явно не нужны, т. е. имеет место прямое программное автоматическое управление по заданному линейному алгоритму. Создание же управляющей программы для систем без обратных связей, что хорошо известно, существенно проще, чем для систем с контролем состояния и датчиками.

В общем случае число независимых электромагнитных клапанов (рис 3, *б*) на гидроцилиндрах может достигать сотен. Это требует, чтобы ПЛК имел столько же дискретных раздельно управляемых выходов, т. е. аппаратных ресурсов устройств сопряжения с объектами управления.

ПЛК предыдущих поколений таких аппаратных возможностей не имели. Однако современные ПЛК строятся в основном по модульному типу и могут быть сконфигурированы с любым набором устройств сопряжений с объектами. Более того, промышленность выпускает ПЛК, имеющие до 300 управляемых дискретных выходов. Так что сочетание схем группового управления и мультиплексирования выходов позволяет управлять головкой практически с любым числом плунжеров.

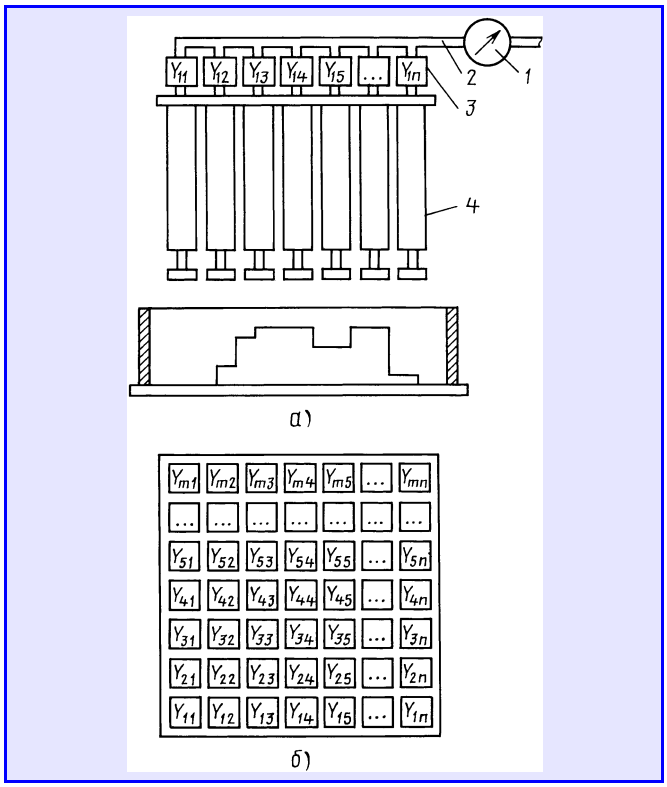


Рис. 3. Принцип автоматизации многоплунжерной головки (а) и расположение электромагнитных клапанов плунжеров в плоскости, параллельной разъему литейной формы (б)

С программной точки зрения состояние каждого плунжера отображается в памяти ПЛК в виде битовой ячейки, а вся плунжерная головка однозначно определяется двухмерной матрицей, что на языке программирования ПЛК будет объявлено, например, так: "Plungers: ARRAY [1, ..., *m*, 1, ..., *n*] OF BOOL".

Таким образом, для реализации заданного алгоритма прессования в соответствии с профилем модели необходимо определить состояние ячеек массива "Plungers" ("Плунжеры") непосредственно на каждом цикле прессования. Такое определение может иметь вид табличной структуры данных, где каждому *i*-му прессовому движению плунжерной головки однозначно заданы состояния элементов матрицы "Плунжеры". В результате алгоритм основной программы содержит следующие действия.

1. Формирование набора состояний массива "Плунжеры" в виде структуры данных.

2. Вычисление необходимого числа вертикальных движений прессовой головки.

3. Установка состояния "Плунжеры" для текущего прессового движения.

4. Выдача управляющего воздействия.

5. Чтение следующего набора состояний "Плунжеры" из структуры данных и переход к п. 3, если не достигнуто последнее значение.

Таким образом, написание универсальной программы управления многоплунжерной активной прессовой головкой особой сложности не представляет. При этом, чтобы переналадить оборудование на прессование других типов форм, достаточно перегрузить исходный файл структурированных данных.

Из всего сказанного можно (и нужно) сделать очень важный для практики вывод: современные МЭК — совместимые сканирующие ПЛК вполне обеспечивают построение автоматизированных технологических модулей, а также объединение последних в единые автоматизированные системы. То есть дают возможность полноценной поэтапной автоматизации технологических процессов литейного производства.

УДК 621.91

Изготовление кольцевых поверхностей в корпусах демпферных муфт

Ю.М. СТОРОЖЕВ, канд. техн. наук К.А. УКРАЖЕНКО, А.Н. ВОЛКОВ

ОАО "Автодизель"

Изготовление кольцевых поверхностей на торцах деталей, как свидетельствует опыт, — довольно сложная технологическая операция. Дело в том, что при ее выполнении инструмент работает в стесненных и напряженных условиях: его работа сопровождается сильной вибрацией, которая очень быстро выводит из строя и сам инструмент, и оснастку. По этим причинам режимы резания приходится выдерживать невысокими. Кроме того, при выполнении данной операции всегда возникают проблемы с отводом стружки.

Недостатки процесса, таким образом, известны и для их устранения нужно решить три задачи: повысить жесткость и виброустойчивость всех элементов СПИД; увеличить мощность привода исполнительного органа станка; создать более эффективную систему стружкоудаления из зоны резания. Однако на практике одновременно решить их не удается, а решение даже любых двух из них процесс обработки не улучшает.

На основании анализа известных технических решений по данной теме и собственного опыта авторы данной публикации занялись комплексным решение этой проблемы. Начали с экспериментов по изготовлению торцевых выточек на различном оборудовании и с помощью всех возможных способов обработки — кольцевого сверления, точения, фрезерования.

Результаты получились ожидаемыми. Например, только выточка (рис. 1) корпуса демпферной муфты (сталь 40Х) сопровождалась переводом в стружку 5 кг материала. Тем не менее на основании выполненных исследований удалось разработать схему и инструмент для обработки данной детали гораздо эффективнее применяемых здесь до последнего времени.

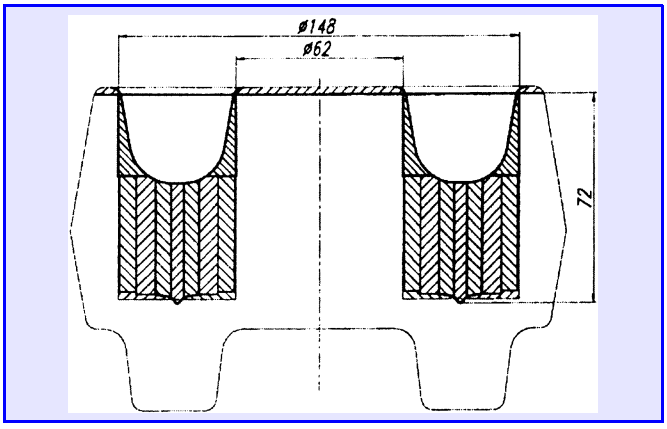


Рис. 1. Заготовка-поковка корпуса муфты демпфера крутильных колебаний

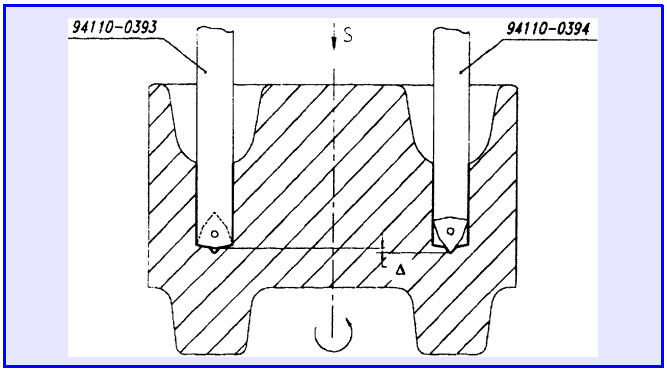


Рис. 2. Схема выполнения первой операции кольцевого точения выточки в корпусе демпфера крутильных колебаний

Предложенная технология сводится к следующему.

Для обработки первой канавки шириной 16 мм использована одна из разновидностей кольцевого сверления — точение двумя резцами (рис. 2), работающими одновременно. Новое в ней то, что по прогрессивной схеме резания величина припуска делится на три участка, а вершины режущих пластин располагаются на одном диаметре (пат. № 2266176, РФ). Благодаря этому силы резания уравновешиваются, следовательно, не вызывают вибраций. То есть сразу решается две из трех перечисленных выше задач.

Данная схема, кроме того, позволяет без особых сложностей обеспечить и третью из них — надежное удаление стружки из зоны резания. Причем как при вертикальной, так и горизонтальной компоновках станков, а также при верхнем и нижнем расположениях выточки.

Схемы очередных переходов, т. е. дальнейшей обработки выточки, для многошпиндельных полуавтоматов мод. 1К283, при которых применяются мощные виброустойчивые резцы с механическим креплением СМП ромбической формы, приведены на рис. 3. Причем наибольший интерес представляют резцы первого перехода. Уже хотя бы потому, что в качестве режущих их элементов использованы самые современные твердосплавные пластины формы WCMX 080408 групп Р20—Р40 по классификации ИСО и система S их крепления. Задний угол этих пластин — 7°, установлены они в державках так, что один резец имеет угол при вершине, равный 80°, а второй — 160° и первый опережает второй на расстояние, равное Δ, которое считывали, исходя из равенства сил резания каждой пластины.

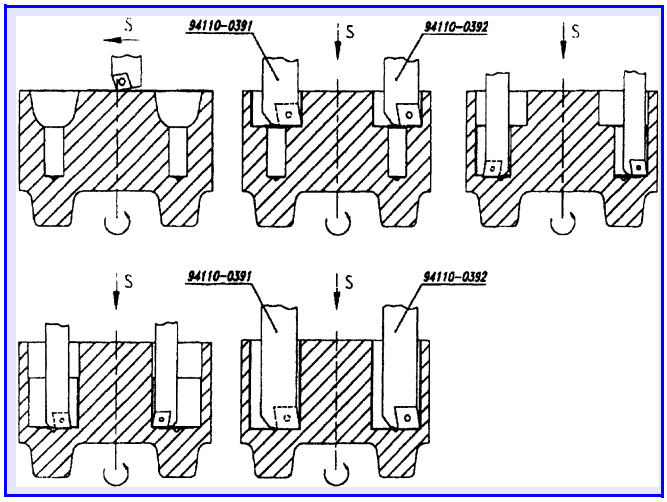


Рис. 3. Схемы переходов обработки выточки на многошпиндельном полуавтомате мод. 1К283

Правильность такого подхода подтверждена экспериментально: резко повышается устойчивость процесса резания на токарно-винторезных станках мод. 1М63А, токарно-револьверных мод. 1К282 и 1Б371, многошпиндельном токарном полуавтомате мод. 1К283; во всех случаях резание идет мягко, без вибраций; процессы измельчения и удаления стружки можно варьировать путем изменения режимов резания и формы передней поверхности пластин.

Скорость резания на первом переходе составляет 40—80 м/об., подача — 0,2—0,3 мм/об., продолжительность цикла обработки — не более 3 мин.

Для последующих переходов тоже разработаны специальные резцы. Они — в механическом креплении по системе Р, т. е. качающимся штифтом, пластины — CNMM-190612 и CNMM-120412 тип 2. Обеспечиваемая ими скорость резания — 80—120 м/об., подача — 0,3—0,4 мм/об.

УДК 629.11.012.5

Установка для оценки силового взаимодействия шины и обода автомобильного колеса

Д-р техн. наук И.В. БАЛАБИН, кандидаты техн. наук С.А. ЗАЙЦЕВ и И.С. ЧАБУНИН, М.С. ЛЯМИН, С.Н. ЛЯМИН

МГТУ "МАМИ"

Существующие в настоящее время аналитические и численные методы определения напряженно-деформированного состояния ободьев автомобильных колес имеют существенный недостаток: они не содержат математического описания нагрузки, воспринимаемой ободом от шины. То есть в них нет того исходного силового фактора, который необходим для формирования расчетной модели обода.

Данный недостаток в свое время попытался устранить один из авторов предлагаемой вниманию читателей статьи, И.В. Балабин, разработав метод графоаналитического описания силового взаимодействия обода и камерной шины. Но его метод касается лишь ободьев с пятиградусными посадочными полками, и потому его нельзя применить для расчета ободьев, имеющих пятнадцатиградусные посадочные полки с шинами в бескамерном исполнении, т. е. к колесам, которые постепенно вытесняют традиционные колеса не только на легковых, но и грузовых автомобилях и автобусах.

Вывод очевиден: возникла необходимость в доработке метода И.В. Балабина.

Специалисты МГТУ "МАМИ" в настоящее время занимаются этим направлением. Причем не только в чисто теоретическом плане, но и на уровне натурных экспериментов. Цель: изучив особенности силового взаимодействия с шиной неразборного обода с пятнадцатиградусными посадочными полками, найти аналитические зависимости, позволяющие быстро и точно определять напряженно-деформированное состояние таких ободьев, а значит, разрабатывать колеса для АТС любого типа.

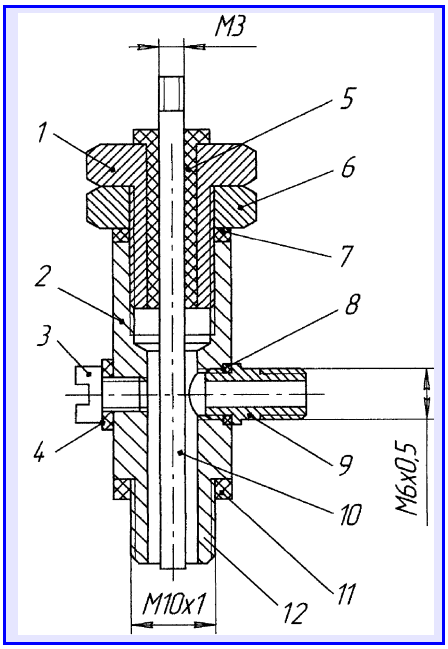


Рис. 1. Схема электрогидравлического датчика:

1 — регулировочная втулка; *2* — корпус; *3* — винт-заглушка; *4*, *7*, *8* и *11* — уплотнительные прокладки; *5* — пластмассовая втулка; *6* — контргайка; *9* — штуцер; *10* — электрод; *12* — полость, заполняемая рабочей жидкостью

Чтобы упростить решение задачи, исследователи сконструировали и изготовили специальную измерительную установку, чувствительными элементами которой являются электрогидравлические датчики.

Каждый такой датчик состоит (рис. 1) из стального корпуса *2*, в котором размещен выполненный из латуни электрод *10*. Этот электрод с помощью эпоксидного клея закреплен в пластмассовой изолирующей втулке *5*, которая, в свою очередь, тем же способом крепится в стальной регулировочной втулке *1*.

Таким образом, электрод *10*, втулки *5* и *1* составляют единый неразборный узел, который завертывается в корпус, меняя тем самым положение электрода относительно нижнего (по схеме) среза корпуса. От самопроизвольного проворачивания данного узла относительно корпуса защищает контргайка *6*.

Таких датчиков в измерительной установке (рис. 2) несколько (их число зависит от размеров обода, давления в шине, желаемой точности измерений и т. д.). Размещают их в резьбовых отверстиях М10×1, предварительно выполненных в ободе *1*. Корпуса датчиков, выступающие из обода, запиливают заподлицо с его поверхностью, а участок шины *2*, который непосредственно контактирует с датчиком, предварительно покрывают тонким (0,01—0,02 мм) слоем *4* электропроводящего состава (смесь мелкодисперсного графитового порошка и технического вазелина).

После установки датчиков на обод монтируют шину, причем она может быть, как с камерой, так и без нее. Далее собирают электрическую схему. При этом один вывод источника *5* электропитания присоединяют к ободу колеса, предварительно зачистив обод и обеспечив тем самым надежный электрический контакт, а второй через лампу-индикатор *6* — к верхнему (см. рис. 1) контакту датчика.

Следующий этап подготовки установки к работе — сборка ее механической части, состоящей из гидроцилиндра *7*, гидрошланга *9*, который присоединяется к штуцеру *9* (см. рис. 1) датчика, и манометра *10*.

Когда система собрана, шину накачивают воздухом до давления ~0,05 МПа (колеса легковых автомобилей) или ~0,1 МПа (колеса грузовых автомобилей и автобусов), тем самым обеспечивая ее плотное прилегание к ободу по всей его наружной поверхности. (Плотность прилегания проверяется обычным для лабораторных исследований методом на краску.)

После предварительной подкачки зона контакта шины и электрогидравлического датчика будет иметь вид, приведенный на рис. 3. Здесь электрод каждого датчика через электропроводный слой и лампу-индикатор замыкается на "корпус", в результате чего лампа-индикатор загорается.

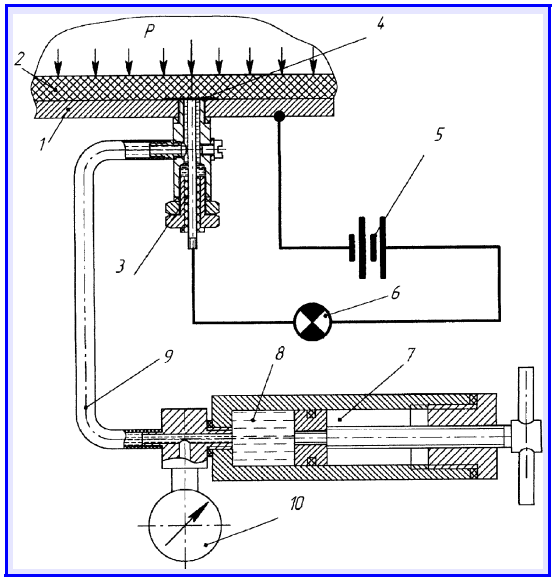


Рис. 2. Схема измерительной установки:

1 — обод; *2* — шина; *3* — электрогидравлический датчик; *4* — электропроводный слой; *5* — источник электропитания; *6* — лампа-индикатор; *7* — гидроцилиндр; *8* — рабочая жидкость; *9* — гидрошланг; *10* — манометр

Затем шину накачивают до рабочего давления. При этом ее поверхностный эластичный слой несколько вдавливается в кольцевой промежуток между корпусом датчика и его электродом (рис. 4). Однако вдавливание не влияет на точность и конечный результат измерений, так как оно устраняется в последующей фазе проведения опыта, т. е. после заполнения гидросистемы рабочей жидкостью. (Особенность измерительной установки состоит в том, что во время опыта рабочая жидкость не выходит в пространство между шиной и ободом, что выгодно отличает рассматриваемый метод измерений от метода обычного гидрозонда.) В процессе заполнения полости *12* (см. рис. 1) рабочей жидкостью из нее через винт-заглушку удаляют воздух — так же, как и при обычной прокачке тормозных гидросистем.

Далее начинается собственно эксперимент. В его ходе оператор, вращая рукоятку гидроцилиндра *7* (см. рис. 2) и

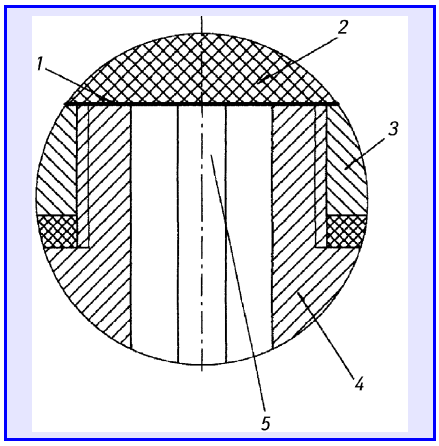


Рис. 3. Исходное положение измерительной системы:
1 — электропроводный слой; *2* — шина; *3* — обод; *4* — корпус датчика; *5* — электрод датчика

наблюдая за показаниям манометра *10*, медленно повышает давление в гидросистеме. В результате участки шины, вдавленные контактным давлением в кольцевой зазор между электродом и корпусом датчика, постепенно выдавливаются из него. Когда давление рабочей жидкости в гидросистеме и контактное давление шины на обод сравняются, устанавливается состояние неопределенного равновесия шины над электроконтактом датчика, т. е. последний уже не прижат к шине, и в образовавшийся микрозазор 0,001—0,005 мм проникает токонепроводящая рабочая жидкость. Электрическая цепь разрывается, и лампа-индикатор гаснет.

Показания манометра при этом, очевидно, будут равны контактному давлению шины на обод. (Особо следует отметить, что в момент отключения лампы-индикатора, т. е. в момент поступления сигнала измерительной информации, шина имеет неискаженную, номинальную, поверхность контакта с ободом.)

Согласно принятым терминам, измерения, проводимые с помощью данной установки, должны быть классифицированы как прямые измерения с наблюдением, а сам метод — как метод непосредственной оценки по показаниям манометра.

Так как для размыкания электроконтакта достаточно слоя рабочей жидкости толщиной 0,001—0,005 мм, то она во время опыта не выходит в пространство между ободом и шиной. И это еще одно принципиальное отличие рассмотренного метода измерений от метода гидрозонда.

Опыты можно повторять многократно: достаточно снизить давление в гидросистеме до уровня, при котором лампа-индикатор загорится, а затем увеличить его до ее отключения.

Как видим, с помощью разработанной установки действительно можно получать набор экспериментальных данных по различным типоразмерам колес, а затем, анализируя и систематизируя их, найти аналитические зависимости, характеризующие силовое взаимодействие обода с шиной. Именно те зависимости, которые позволяют решать задачи, связанные с оптимизацией их силового контакта, напряженно-деформированного состояния, обеспечением герметичности пары "шина—обод" и т. д. То есть создавать конструкции, отвечающие требованиям оптимального сочетания массы, прочности и жесткости. В том числе наиболее востребованные и перспективные конструкции ободьев для бескамерных шин грузовых автомобилей, автопоездов и автобусов.

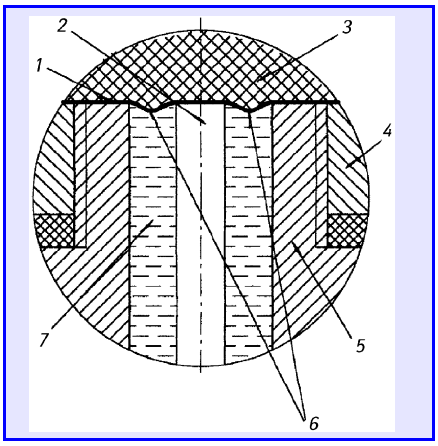


Рис. 4. Положение измерительной системы после монтажа шины на обод:
1 — электропроводный слой; *2* — электрод датчика; *3* — шина; *4* — обод; *5* — корпус; *6* — кольцевой зазор датчика

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Хадыков А.Т. — Легковое автомобилестроение и экономика России . . . 1
Мариев П.Л. — ПО "БелАЗ": техническое перевооружение производства — путь к повышению качества выпускаемой продукции . . . 5

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Соломатин Н.С., Зайцев С.А., Исаев Е.У. — Концепция современного особокомпактного городского легкового автомобиля . . . 8
Сонкин В.И., Артемов А.А, Бажинов А.А., Миронычев М.А. — Экспериментальный бензиновый двигатель ЗМЗ-НАМИ с непосредственным впрыскиванием топлива . . . 10
Захаров И.Л., Макаров А.Р., Хрунков С.Н., Люхтер А.Б. — Трехзонная математическая модель смесеобразования и сгорания в бензиновом ДВС 15
Ерохов В.И., Карунин М.А. — Общая концепция совершенствования газовой аппаратуры ДВС с искровым зажиганием . . . 19
Каменев В.Ф., Хрипач Н.А., Алешин С.В., Папкин Б.А. — Конструктивное исполнение нейтрализатора отработавших газов и экологические показатели автомобиля . . . 21
Захарик Ю.М. — Алгоритм AWS автоматического управления сцеплением, снижающий темп изнашивания накладок дисков сцеплений . . . 23
Подригало М.А. — Качение автомобильного колеса и определение понятия "тяговая сила" . . . 25

АВТОТЕХОБСЛУЖИВАНИЕ

Евсеев П.П. — Возможности аппаратурного метода оценки работы автомобиля . . . 27
Топалиди В.А., Аллаберганов С.Я. — Большегрузные автопоезда. Проблемы допуска к международным перевозкам . . . 30

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Потапов В.В., Филин В.А. — Комплексная технология переработки чугунной стружки, загрязненной СОЖ . . . 33
Сиротский А.А. — Средства и методы автоматизации технологических процессов литейного производства . . . 35
Сторожев Ю.М., Украженко К.А., Волков А.Н. — Изготовление кольцевых поверхностей в корпусах демпферных муфт . . . 38
Балабин И.В., Зайцев С.А., Чабунин И.С., Лямин М.С., Лямин С.Н. — Установка для оценки силового взаимодействия шины и обода автомобильного колеса. . . . 39

Главный редактор Н. А. ПУГИН
Заместитель главного редактора В. Н. ФИЛИМОНОВ
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
И. В. Балабин, С. В. Бахмутов, О. И. Гируцкий, В. И. Гладков, М. А. Григорьев, Ю. К. Есеновский-Лашков, А. Л. Карунин, Г. И. Мамити, Р. В. Козырев (ответственный секретарь), С. М. Круглов, Ю. А. Купеев, В. А. Марков, Э. Н. Никульников, В. И. Пашков, Н. Т. Сорокин, А. И. Титков, Н. Н. Яценко

Белорусский региональный редакционный совет:
М. С. Высоцкий (председатель), Л. Г. Красневский (зам. председателя), Д. А. Дубовик, Н. В. Коритко, П. Л. Мариев, А. П. Ракомсин, И. С. Сазонов, Г. А. Синеговский, В. Е. Чвялев

Художественный редактор Т. Н. Погорелова
Корректор М.Г. Джавадян
Сдано в набор 3.10.2006. Подписано в печать 15.12.2006.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,9. Уч.-изд. л. 6,95. Зак. 30.
Отпечатано в Подольской типографии — филиале ОАО "ЧПК"
142110, г. Подольск, ул. Кирова, 15

Ордена Трудового Красного Знамени
ОАО «Издательство "Машиностроение"»
Адрес издательства и редакции:
107076, Москва, Стромынский пер., 4
Телефон 269-54-98. Факс 269-48-97
E-mail: avtoprom@mashin.ru
www.mashin.ru www.avtomash.ru

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПН № 77-7184
Цена свободная
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.
За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.
Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.