av0316.fm Page 1 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва "Машиностроение"

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
науки и технологий РФ,
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 3 • март • 2016

# ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 05.22.10.

## СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Е.А. ДУБОВИК**
Донской ГТУ (+ 7.863.273-85-11)

*С экономической точки зрения рассматривается технология некоторых из распространенных сегодня функциональных стратегий конкурентоспособности.*

***Ключевые слова:*** *предприятие, конкурентоспособность, технология, франчайзинг.*

**Dubovik E.A.**
**MODERN STRATEGY OF INCREASE OF COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE**

*The technology of some of the common functional strategies of competitiveness from an economic point of view is discussed.*

***Keywords:*** *enterprise, competitiveness, technology, franchising.*

В предыдущей статье автор рассмотрел комплексный показатель, характеризующий конкурентоспособность предприятия автосервиса и, следовательно, позволяющий, во-первых, определить "ранг" своего предприятия на рынке услуг и, во-вторых, разработать меры, которые способствуют повышению этого "ранга" (см. "АП", 2016, № 2). В связи с этим возникает вопрос: какими должны быть эти меры? Другими словами, какой должна быть функциональная стратегия повышения конкурентоспособности? И прежде всего с точки зрения экономики предприятия?

Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к зарубежному опыту. Там таких стратегий разработано великое множество. Но наибольшее распространение получили три из них: франчайзинг; подрядное кооперирование на основе договорной специализации; выполнение госзаказов. Рассмотрим их.

Система франчайзинга — система, которая значительно облегчает выход на рынок предприятиям и отдельным предпринимателям, располагающим скромным начальным капиталом и не имеющим опыта предпринимательской деятельности. Базируется она на договорах концессии. Например, если у крупной фирмы есть избыточные производственные мощности, а в регионе, где она расположена, растет уровень безработицы, то на этих мощностях или мощностях её региональных центров создаются малые предприятия, которым предоставляется право выполнять какие-то не главные для фирмы функции (скажем, ремонт изделий фирмы при условии гарантированного снабжения ею запасными частями).

Очевидно, что эта система пригодна для различных предприятий и широкого диапазона видов деятельности (производство, строительство, оказание услуг, торговля и др.). Поэтому человек или группа людей, решившая заняться бизнесом, изучив потребности местного рынка и выявив наличие простаивающих на крупных предприятиях производственных площадей, оборудования, материалов, может выбрать наиболее подходящий для неё вариант франшизы и организовать одно или несколько небольших предприятий, которые в определенной степени будут способствовать оздоровлению социально-экономической ситуации в городе или регионе.

Рассматривая перспективу развития франчайзинга в России в ближайшее время, можно предположить, что у нас будут прослеживаться те же направления, что и в других развитых странах (транспортные услуги, автосервис, гарантийный ремонт техники, строительство и ремонт жилья, общественное питание, торговля). Получит широкое распространение франчайзинг и в производстве узких групп товаров или продуктов, или химические товары в спецупаковке, скобяные изделия, сантехника, прохладительные напитки, кондитерские изделия, молочные продукты, а также в сфере разного рода услуг (бухгалтерские, аудиторские, юридические, обучение, туризм, гостиничное хозяйство).

При подрядном кооперировании и договорной специализации за рубежом наиболее широко используются четыре типа договоров: купли-продажи, на поставку товаров, на выполнение подрядных работ и о совместной деятельности. Из этого перечня следует, что первые три типа договоров — обычное для российского рынка явление. А вот третий делает лишь первые шаги. Поэтому рассмотрим его подробнее.

Договор о совместной деятельности — это, по сути, договор подрядного кооперирования на низшей, так сказать, ступени. Его объекты могут быть весьма разнообразны — от получения полуфабрикатов до окончательной сборки, а на более высокой — выполнение крупными и малыми фирмами совместных проектов и программ. При этом между участниками складываются отношения стратегического партнерства, что приносит обеим сторонам ощутимые выгоды. Во-первых, потому, что расход по освоению нового изделия они делят между собой, во-вторых, каждая из них получает возможность сосредоточиться на более узком звене производства (с учётом особенностей их производственного опыта и имеющегося технологического оборудования), что позволяет с минимальным риском и в короткие сроки осваивать выпуск технически сложных видов изделий, расширить объём экономически выгодного выпуска однородной продукции. В целом же такая кооперация положительно сказывается не только на отдельных предприятиях и фирмах, но способствует созданию гибкой организационной структуры как отдельных отраслей, так и экономики государства.

Отдельной формой промышленного, в том числе и международного промышленного, кооперирования крупных и малых фирм выступает договорная специализация. Важнейшее условие, которое придает соглашениям о специализации кооперационный характер, это наличие в нем положений о тесном сотрудничестве участников в форме совместного производства сложной продукции, взаимных или односторонних субподрядных поставках, проведении совместных исследований и разработок.

Подрядная деятельность может использоваться в любой отрасли экономики в процессе её реформирования. Но наиболее значительное развитие подрядная форма кооперирования получила в отраслях, выпускающих конструктивно сложные изделия — самолеты, космическую технику, оборудование АЭС, электронное оборудование, оборудование для химических, металлургических и других технически сложных промышленных объектов. Широкие и всесторонние связи по кооперации сложились и в тракторостроении, отраслях, выпускающих бытовые приборы (холодильники, радиоприемники, телевизоры, часы), и особенно — в автомобилестроении.

Узкоспециализированное производство может быть не только внутриотраслевым, но и иметь межотраслевой характер, например, производство некоторых изделий общемашиностроительного применения, крепежа, где малые производства оказываются как нельзя кстати.

Для формирования подрядных отношений в России между крупными хозяйственными единицами и малыми и средними структурами интересен опыт организации такого рода отношений в ведущих промышленно развитых странах тоже весьма интересен. Например, опыт Японии, характерной чертой промышленности которой являются тесные и обширные связи между изготовителями конечной продукции и поставщиками комплектующих изделий. Японское промышленное производство обладает большими мощью и преимуществами в конкурентной борьбе благодаря системе "субподряда". Существующие в этой стране многочисленные субподрядные группы представляют собой сложный экономический институт, в рамках которого поставщики ранжированы по вертикали, а именно: предприятия-поставщики более низкого уровня выступают субподрядчиками относительно предприятий вышестоящего уровня.

Вся эта многоуровневая "конструкция" работает по единому графику поставок, объём которых определяется контрактами помесячно и ежедневно оперативно корректируется в зависимости от развития спроса. Кроме того, головная фирма часто практикует диверсификацию субпоставщиков, что позволяет сопоставлять сметы затрат и влиять на ценовую политику. По оценке американских специалистов в области автомобилестроения, эта система обеспечивает японским фирмам экономию около четверти производственных издержек.

Проблемы развития подрядных отношений в России должны решаться, по мнению автора, на основе современных методов стратегического планирования, позволяющих крупным предприятиям, проходя процесс реформирования, разработать концепцию производственно-технологического кооперирования с малым предпринимательством, а также оптимизировать их финансовые взаимоотношения. Выстраивание рыночных основ хозяйствования стимулирует постоянство во взаимодействии крупных и малых предприятий, что положительно сказывается на экономическом состоянии хозяйственных систем. Кроме того, техническая помощь со стороны крупных предприятий в рамках субподряда может резко повысить оснащенность и конкурентоспособность большого числа малых предприятий, раскрывая перед ними возможность, окрепнув в финансовом и технологическом отношении, уйти от субподрядной зависимости, став средним по величине предприятием, способным в течение длительного времени самостоятельно выдерживать рыночную конкуренцию.

Выполнение госзаказов — наиболее сложившаяся к настоящему времени система закупок товаров, работ, услуг для государственных нужд. В том числе привлечением малых предприятий через конкурсные торги, в процессе которых государственный заказчик на основе заранее объявленных условий выбирает поставщика (исполнителя работ). Однако надо признать, что малые российские предприятия пока что, к сожалению, не стали полноценными участниками этого процесса.

Чтобы исправить сложившееся положение, необходимо решить как минимум пять задач. Это, во-первых, разукрупнение объектов торгов на отдельные лоты, что предоставит возможность для каждого малого предприятия напрямую участвовать в таких торгах; во-вторых, проведение специальных торгов для малых предприятий с целью реализации небольших государственных контрактов, стоимость которых не превышает 2500 установленных законом размеров минимальной месячной оплаты труда (по которым Указом № 305 Президента РФ от 8.04.1997 г. закупка может производиться как посредством конкурсных торгов, так и методом запроса котировок); в-третьих, заключение контрактов в первую очередь с малыми предприятиями, предоставившими обеспечение заявок на участие в торгах (бан-

ковскую гарантию, залог или поручительство); в-четвертых, в случае участия малого предприятия в торгах совместно с крупным предприятием для него из общего объёма поставки, целесообразно выделять свой (особый, небольшой) лот; в-пятых, к малому предприятию нужно применять упрощенную процедуру участия в конкурсе, а для крупного предприятия — общепринятую.

Что касается схем привлечения малых предприятий к выполнению заказов для государственных нужд, то, в принципе, их может быть три: малое предприятие участвует в торгах самостоятельно и в случае победы в них становится исполнителем и распорядителем заказа; участвует в торгах не непосредственно, а как структурная единица крупного предприятия, от которого оно получит часть заказа в случае выигрыша торгов "материнским" предприятием; становится соисполнителем заказа вместе с крупным предприятием. Но ни одна из них у нас почти не применяется. И причин тому тоже несколько.

Самостоятельное участие малых предприятий в торгах на поставку продукции для государственных нужд в настоящее время затруднено из-за их слабой материально-технической базы, отсутствия должного уровня технологий, незначительности собственных финансовых ресурсов, трудностями с обеспечением производства высококачественным сырьём и квалифицированными специалистами. Срабатывает и принятый главный критерий конкурсного отбора — минимальная цена предложения, а также то, что малым предприятиям просто не по силам принять на себя риск несвоевременной оплаты выполненных контрактов, что при слабой финансовой дисциплине госзаказчиков случается часто. Не способствует их участию в госзаказах и отсутствие механизма обратной связи: постановлением Правительства РФ № 523 от 23 апреля 1996 г. перечень малых предприятий — потенциальных участников госзаказов до сих пор не создан. Правда, Минэкономики России уже разработаны проекты нормативных документов по введению процедуры предварительного согласования пакета документов по реализации государственного заказа в Минфине России. Утверждение указанных документов позволит, в определенной степени, снизить риск несвоевременной оплаты выполненных контрактов, что, в свою очередь, должно способствовать развитию процесса участия малых предприятий в реализации государственных контрактов.

Одним из механизмов повышения эффективности использования научных разработок и внедрения результатов фундаментальных и прикладных исследований в промышленности может стать использование инновационного потенциала малого предпринимательства. И здесь речь идет о научно-техническом сотрудничестве и венчурном финансировании, которые за рубежом являются одной из форм взаимодействия и одним из основных способов ускорения научно-технического прогресса и представляют собой кооперацию крупного капитала с большим числом малых и средних фирм, занятых в сфере НИОКР.

Основой такой кооперации являются договора о совместной деятельности, купли-продажи, возмездного оказания услуг на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и договор подряда на выполнение проектных и изыскательских работ. При этом существует несколько основных форм кооперации крупного и малого бизнеса в сфере НИОКР. Во-первых, отдача крупными корпорациями контрактов — заказов малым и средним фирмам с предоставлением, при необходимости, малой фирме займа. Во-вторых, крупная компания может предоставить мелкой фирме, вступившей с ней в контакт, практическую помощь в виде консультационных услуг, передать накопленный опыт и знания в научной области, в сфере управления. В-третьих, крупная компания может инвестировать в малые и средние фирмы по заинтересованным для нее разработкам. В-четвертых, крупная компания может создавать новые малые научно-технические фирмы, выделяя для этой цели свои кадры и материальные ресурсы. (Этот способ обычно используется в тех случаях, когда деятельность крупной компании дает некоторые побочные результаты в виде соответствующих идей или технологий, причем эти результаты плохо согласуются с ее основной сферой деятельности, а их реализация связана с необходимостью новых инвестиций, а также со значительным риском.) В-пятых, крупная фирма и малое предприятие могут успешно сотрудничать в рамках совместной деятельности по разработке и продвижению на рынок новых продуктов или технологий. При этом первая предоставляет капитал и существующие каналы и механизмы рекламы, продажи и обслуживания, тогда как вторая занимается собственно разработками, отработкой технологии и производства. В-шестых, существует и смешанная форма сотрудничества крупных и мелких фирм в области НИОКР, которая заключается в использовании всех перечисленных выше форм в тех либо иных комбинациях. При этом особо хотелось бы отметить ту форму организации отношений науки с производством вообще и крупного и малого бизнеса, которая направлена на самые новейшие, наиболее перспективные направления научно-технического прогресса и, следовательно, связана с рисковым или венчурным капиталом.

Все перечисленное, в общем-то, универсально, т.е. в той или иной степени пригодно для любой отрасли экономики. В том числе и для предприятий автосервиса, разумеется. Ведь не случайно малые фирмы за рубежом составляют ~90 % общего числа действующих в сфере НИОКР компаний и на них приходится довольно значительная и устойчивая доля крупных научно-технических нововведений, освоенных в промышленности. В США, например, как утверждают, малые предприятия внедряют почти в 20 раз больше нововведений на доллар затрат, чем крупные корпорации. На их счету такие научно-технические новшества и открытия, как инсулин, пенициллин, хлопкоуборочная машина, каталитический крекинг, гирокомпас, реактивный двигатель, кондиционер, кислородное дутье, электронная лампа, ксерография и многое другое.

Таким образом, "плюсы" взаимодействия крупных компания с малыми фирмами очевидны. И не воспользоваться такими возможностями у нас в России было бы крупнейшей ошибкой стратегии развития отечест-

венной экономики. И не просто ошибкой, а ошибкой обидной. Ведь в России есть всё, что необходимо, например, для развития венчурного финансирования в качестве формы интеграции крупных и мелких структур. В частности, активно создаются финансово-промышленные группы, взаимодействие которых с малыми инновационными фирмами становится, как об этом буквально "кричит" зарубежный опыт, главным инструментом разрешения противоречия между невостребованностью творческих возможностей учёных и необходимостью кардинального обновления технической основы фактически всех отраслей народного хозяйства. Ведь не секрет, что основным лимитирующим фактором здесь выступает нехватка инвестиционных средств, обусловленная не столько нехваткой денег в стране, сколько недостаточным уровнем развития нашей кредитной системы: при высокой доле сбережений населения в ВВП (по оценкам, свыше 20 %), в России пока не развернуты такие формы специализированного кредита, способного обслуживать венчурный бизнес, как пенсионные, инвестиционные, гарантийные, взаимные фонды, кредитная кооперация. И не в последнюю очередь потому, что законодательно-нормативная база, на которую могут опираться эти институты, у нас практически отсутствует: по традиции, сохранившейся еще с советских времен, все считают, что деньги должно дать государство. А оно их не дает. Его задача, если судить по тому же зарубежному опыту, в другом — финансовая поддержка приоритетных венчурных разработок. Именно поддержка. Основную же роль должны играть финансово-промышленные группы и объединения предпринимателей, создаваемые ими с участием государства специальные фонды финансирования (Российский фонд фундаментальных исследований, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере). Существенна роль и других элементов инфраструктуры поддержки, в том числе технопарков, которые постепенно начинают появляться и у нас. К примеру, неплохо уже рекомендовали себя технопарки в Зеленограде, Ногинске, Новгороде и других городах страны. Большие надежды возлагаются на Сколково.

Таким образом, оценка конкурентоспособности собственно предприятия, т.е. его способности разрабатывать, производить и продавать свою продукцию на рынке по цене, обеспечивающей выполнение в полном объеме — лишь начало дела. Чтобы повысить этот показатель, необходима хорошая стратегия его конкурентного поведения на рынке. И основываться эта стратегия должна на глубоком анализе конкурентной среды и правильном выборе своего места в данной среде. Поэтому автор надеется, что всё, о чём рассказал выше, хоть в какой-то мере поможет нашим предпринимателям, в том числе предприятиям автосервиса, не "изобретать велосипед", а воспользоваться опытом других — тех, кто создавал такие стратегии и успешно их реализует.

АСМ-факты

## ПРОИЗВОДСТВО АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ РОССИИ В 2015 г.

(По информации ОАО "Автосельхозмаш-холдинг")

| Предприятие-изготовитель | Декабрь 2015 г. | Декабрь 2014 г. | Прирост, % | Январь—декабрь 2015 г. | Январь—декабрь 2014 г. | Прирост, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ* | | | | | | |
| Группа "ГАЗ": | | | | | | |
| АЗ "ГАЗ" | 6085 | 6977 | −12,8 | 59 694 | 66 763 | −10,6 |
| АЗ "Урал" | 666 | 513 | +29,8 | 7196 | 7 107 | +1,3 |
| * Саранский завод автосамосвалов | 160 | 126 | +27,0 | 1405 | 1 364 | +3,0 |
| Группа "КамАЗ": | | | | | | |
| КамАЗ | 3851 | 2987 | +28,9 | 28 260 | 38 800 | −27,2 |
| НефАЗ: | | | | | | |
| * *Автосамосвалы* | — | — | — | 7 | — | — |
| ** *Самосвальные установки* | 981 | 716 | +37,0 | 6219 | 9575 | −35,0 |
| "Мерседес-Бенц Тракс Восток" | 240 | 180 | +33,3 | 1122 | 1500 | −25,2 |
| "Фузо КамАЗ Тракс Рус" | — | 325 | — | 451 | 1752 | −74,3 |
| УАЗ | 2 082 | 2056 | +1,3 | 19 446 | 17 520 | +11,0 |
| "Соллерс-Исудзу" | 259 | 282 | −8,2 | 2407 | 2350 | +2,4 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 678 | 542 | +25,1 | 3288 | 5445 | −39,6 |
| "БАУ-Рус Мотор Корпорэйшн" | 68 | 9 | +655,6 | 239 | 21 | +1038,1 |
| Брянский АЗ | 18 | 15 | +20,0 | 153 | 162 | −5,6 |

| Предприятие-изготовитель | Декабрь 2015 г. | Декабрь 2014 г. | Прирост, % | Январь—декабрь 2015 г. | Январь—декабрь 2014 г. | Прирост, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Группа "Автотор" | 26 | 146 | −82,2 | 443 | 2763 | −84,0 |
| "Вольво Восток" | 107 | 223 | −52,0 | 391 | 1874 | −79,1 |
| МЗ "Тонар" | — | 16 | — | 11 | 41 | −73,2 |
| "ИВЕКО-АМТ" | 44 | 126 | −65,1 | 272 | 754 | −63,9 |
| ПСА "ВИС-авто" | 371 | 152 | +144,1 | 1734 | 1695 | +2,3 |
| "Скания-Питер" | 49 | 49 | +00,0 | 284 | 605 | −53,1 |
| "МАН Трак Энд Бас Продакшн Рус" | 51 | 67 | −23,9 | 493 | 508 | —3,0 |
| "Катерпиллар Тосно" | — | — | — | 7 | 20 | −65,0 |
| * Другие предприятия Санкт-Петербурга | 2 | 6 | −66,7 | 27 | 52 | —48,1 |
| "Комацу Мэнуфэкчуринг Рус" | 1 | 2 | −50,0 | 10 | 19 | −47,4 |
| НПК "Уралвагонзавод" | — | 1 | — | 8 | 12 | −33,3 |
| * "Бецема" | 4 | 16 | −75,0 | 118 | 436 | −72,9 |
| * Великолукский завод "Лесхозмаш" | — | — | — | 1 | — | — |
| * Филиал "Машзавод" | 2 | — | — | 5 | 21 | −76,2 |
| * ЗТО "Камея" | 55 | 173 | −68,2 | 970 | 1650 | −41,2 |
| * "Спектр авто" | 90 | 109 | −17,4 | 866 | 1380 | −37,2 |
| * "Чайка-НН" | 69 | 103 | −33,0 | 501 | 637 | −21,4 |
| * РИАТ | 127 | 98 | +29,6 | 561 | 643 | −12,8 |
| * АПХ "Штурман Кредо +" | — | — | — | 3 | 109 | −97,2 |
| Другие предприятия Республики Татарстан | 14 | 6 | +133,3 | 146 | 126 | +15,9 |
| *ЛЕГКОВЫЕ АВТОМОБИЛИ* | | | | | | |
| Группа "АвтоВАЗ": | | | | | | |
| Под брендами: | | | | | | |
| *"Лада"* | 19 455 | 41 160 | −52,7 | 303 334 | 391 111 | −22,4 |
| *"Рено", "Нисан", "Датсун"* | 5519 | 24 828 | −77,8 | 129 201 | 130 139 | −0,7 |
| ВАЗ | 18 836 | 50 091 | −62,4 | 353 493 | 442 749 | −20,2 |
| ОАГ (Ижевск) | 5827 | 14 959 | −61,0 | 72 952 | 74 607 | −2,2 |
| "Лада Спорт" | 268 | 658 | −39,3 | 3153 | 2643 | +19,3 |
| ПСА "ВИС-авто" | — | 134 | — | 2412 | 433 | +457,0 |
| "Супер-авто" | 45 | 147 | −69,4 | 569 | 851 | −33,1 |
| "GM-АвтоВАЗ" | 2900 | 4334 | −33,1 | 34 555 | 45 777 | −24,5 |
| Группа "Автотор" | 8146 | 8511 | −4,3 | 91 673 | 181 704 | −49,5 |
| "Рено Россия" ("Автофрамос") | 9593 | 14 526 | −34,0 | 139 908 | 209 443 | −33,2 |
| ИМС (Московская обл., Раменский р-н) | — | 1907 | — | — | 17 090 | — |
| АЗ "ГАЗ" | 1726 | 4522 | −61,8 | 41 691 | 74 878 | −44,3 |
| Группа "Соллерс": | | | | | | |
| УАЗ | 2922 | 2869 | +1,8 | 27 793 | 25 356 | +9,6 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 736 | 679 | +8,4 | 10 051 | 19 712 | 51,0 |
| "Соллерс-Набережные Челны" | — | 980 | — | 10 240 | 3 331 | +207,4 |
| "Соллерс-Буссан" | — | 1357 | — | 6629 | 14 179 | −53,2 |
| "Мазда Соллерс Мануфэкчуринг Рус" | 1025 | 2351 | −66,4 | 25 194 | 53 402 | −52,8 |
| ТагАЗ | — | — | — | — | 58 | — |
| АК "Дервейс" | 785 | 1300 | −99,6 | 14 726 | 25 597 | −42,5 |
| ГУП "Чеченавто" | 50 | — | — | 2822 | 82 | +3 341,5 |
| "Форд Мотор Компани" | 454 | 1149 | −60,5 | 14 988 | 27 689 | −45,91 |
| Предприятия Санкт-Петербурга ("Дженерал Моторз Авто", "Тойота Мотор", "Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус", "Ниссан Мэнуфэкчуринг Рус") | 29 868 | 31 656 | −5,6 | 306 834 | 360 577 | −14,91 |
| "Фольксваген Груп Рус" (Калуга): | 6238 | 11 352 | −45,0 | 96 831 | 125 128 | −22,6 |
| "ПСМА Рус" (Калуга) | 1385 | 2056 | −32,6 | 25 733 | 45 203 | −43,1 |
| *АВТОБУСЫ* | | | | | | |
| Группа "КамАЗ": | | | | | | |
| НефАЗ, в том числе: | 119 | 42 | +183,3 | 636 | 583 | +9,1 |
| * *Вахтовые автобусы* | — | 1 | — | 21 | 1 | +2000,0 |
| "КамАЗ-Марко" | — | 8 | — | 54 | 111 | −51,4 |

| Предприятие-изготовитель | Декабрь 2015 г. | Декабрь 2014 г. | Прирост, % | Январь—декабрь 2015 г. | Январь—декабрь 2014 г. | Прирост, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Группа "ГАЗ": | | | | | | |
| АЗ "ГАЗ" | 1 181 | 905 | +130,5 | 9163 | 9884 | −7,3 |
| АЗ "Урал" | 40 | 14 | +185,7 | 275 | 259 | +6,2 |
| "Русские Автобусы-Группа ГАЗ", в том числе: | 914 | 1205 | −24,1 | 7080 | 9187 | −22,9 |
| ПАЗ | 708 | 1055 | −32,9 | 5872 | 7442 | −21,1 |
| ЛиАЗ | 150 | 100 | +50,0 | 890 | 1299 | −21,5 |
| КАвЗ | 56 | 50 | +12,0 | 318 | 446 | −28,7 |
| "Тулабус" | 1 | 1 | 0,0 | 14 | 20 | −30,0 |
| УАЗ | 1008 | 998 | +1,0 | 9930 | 8413 | +18,0 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 5 | 9 | −44,4 | 49 | 38 | +28,9 |
| "БАУ-Рус Мотор Корпорэйшн" | — | — | — | 2 | 3 | −33,3 |
| "Автодом" | 79 | — | — | 265 | — | — |
| "Волгабас" ("Волжанин") | 21 | 77 | −72,7 | 309 | 865 | −64,3 |
| СТ "Нижегородец" | 359 | 965 | −62,8 | 3327 | 6351 | −47,6 |
| ПКФ "Луидор" | 391 | 707 | −44,7 | 5103 | 7138 | −28,5 |
| "Промтех" | 80 | 194 | −58,8 | 649 | 1777 | −63,5 |
| ПКСТ "Артан" | — | — | — | 39 | 48 | −18,7 |
| "Ирито" | — | 80 | — | 52 | 917 | −94,3 |
| *ТРОЛЛЕЙБУСЫ* | | | | | | |
| "Тролза" | 5 | 30 | −83,3 | 47 | 130 | −63,8 |
| "Транс Альфа Электро" (ВМЗ) | 8 | 4 | +100,0 | 15 | 34 | −55,9 |

Примечания:
* — на шасси других отечественных изготовителей;
** — надстройки.

# КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.113

## ПОЛОЖЕНИЕ ЗОН РАЗНОГО ТРЕНИЯ В ПЯТНЕ КОНТАКТА ШИНЫ С ДОРОГОЙ И АКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **Е.В. БАЛАКИНА**, **Т.А. ГОЛУБЕВА**, **А.В. МЕЛЬНИКОВ**
Волгоградский ГТУ (8902. 311-78-47)

*Рассматриваются зависимости, позволяющие учесть влияние зон разного трения пятна контакта шины с опорной поверхностью на устойчивость автомобиля.*

***Ключевые слова:*** *шина, взаимодействие с твердой опорной поверхностью, зоны разного трения в пятне контакта, снос боковой реакции, устойчивость движения автомобиля.*

**Balakina E.V., Golubeva T.A., Melnikov A.V.**
**ARRANGEMENT OF DIFFERENT FRICTION ZONES IN CONTACT OF TYRE WITH ROAD AND ACTIVE SAFETY OF THE CAR**

*Dependencies allowing to evaluate the impact of different zones of friction of the contact patch of the tire with the supporting surface on the stability of the car are considered.*

***Keywords:*** *tyre, interaction with a solid part, zones of different friction in contact, displacement of side reaction, stability of the movement of the car.*

В задачах, решаемых при предпроектном моделировании устойчивости движения автомобиля, конструктор исходит из того, что пятно контакта шины с опорной поверхностью представляет собой зону с одинаковым трением. Однако такое допущение — упрощение реальности. На самом деле в пятне контакта есть зоны, отличающиеся с точки зрения трения. Это смещает боковую реакцию опорной поверхности, реализуемой участком с трением покоя. Следовательно, не может не сказаться на точности результатов предпроектной оценки активной безопасности автомобиля.

Чтобы избежать этого, приходится изготовлять и "доводить" его опытные образцы. Другими словами, исправляют разные недостатки расчётов проведением множества трудоёмких и дорогостоящих экспериментов. Что в настоящее время, когда смена моделей и модификаций продукции стала одним из главных факторов, определяющих успех или неуспех автопроизводителя в конкурентной борьбе за покупателя, заставляет применять новые методы расчётов.

av0316.fm Page 7 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

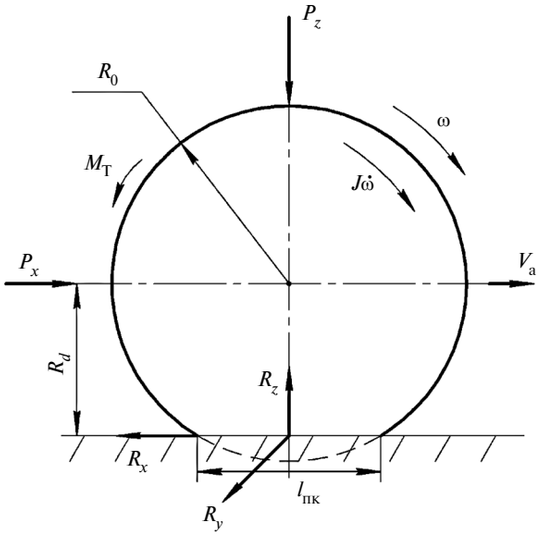



*Рис. 1. Схема затормаживаемого колеса*

Авторы предлагаемой читателям статьи тоже занимались таким поиском. И, как им кажется, небезуспешно: найден способ, позволяющий учитывать положение зон трения покоя и скольжения в пятне контакта. При этом они исходили из следующих известных соображений.

Известно, что зона трения покоя в пятне контакта воспринимает как продольную, так и боковую силы и реализует, соответственно, часть продольной и всю боковую реакции опорной поверхности. При этом зона трения скольжения в пятне контакта воспринимает только продольную силу и реализует, соответственно, только часть продольной реакции опорной поверхности.

Известно и то, что положение зоны с трением покоя непостоянно.

Следовательно, положение боковой реакции опорной поверхности тоже непостоянно. Это может влиять на моменты в пятне контакта — создавать возмущающие упругие угловые колебания управляемых колёс, а значит, в пятне контакта на процесс колебаний этих колёс и, соответственно, на параметры, характеризующие устойчивость движения и тормозную динамику автомобиля.

Все это, повторяем, хорошо известно. Кроме того, с участием первого автора разработаны и способы определения взаимного расположения сил, реакций и зон трения в пятне контакта эластичного колеса с твердой поверхностью. Однако что касается возможных влияний положения зон разного трения на свойства активной безопасности автомобиля, информации по ним явно недостаточно. Поэтому авторы и занялись именно этой проблемой. Для чего были составлены схемы затормаживаемого колеса (рис. 1) и пятна контакта с его зонами трения покоя и скольжения (рис. 2). На этих рисунках $R_z$ — нормальная реакция опорной поверхности, $R_x$ и $R_y$ — её продольная и боковая реакции соответственно, $v_а$ — поступательная скорость оси колеса, ω — угловая скорость колеса, $J$ — его момент инерции, $R_О$ и $R_d$ — свободный и динамический радиус, $M_т$ — тормозной момент, $l_{пк}$ — длина пятна контакта.

Пятно контакта может иметь, как известно, овальную форму (диагональные и мотоциклетные шины) или форму, близкую к прямоугольнику (грузовые и радиальные шины, особо низкопрофильные шины). Причем в ведущем режиме и в том и в другом случае участок $A$ с трением покоя расположен в передней части пятна контакта, а участок $B$ с трением скольжения — в задней, а в тормозном режиме все наоборот: участок $B$ располагается в передней части пятна контакта, участок $A$ — в задней. И если условно принять, что площадь участка с трением скольжения равна $s$, а площадь участка с трением покоя — $(1 - s)$, где $s$ — коэффициент продольного скольжения колеса, то зависимость текущего смещения $e$ центра участка с трением покоя, определяющего положение боковой $R_y$ реакции относительно центра пятна контакта $O$, может быть записана в виде следующей формулы:

$$e \approx \frac{l_{пк}}{2} \cdot s.$$

Для определения положения нормальной реакции $R_z$, как показали выполненные авторами исследования, необходимо также учитывать продольное упругое перемещение оси колеса $c$ относительно геометрического центра пятна контакта. При этом составляющей продольного сноса $a$ нормальной реакции из-за гистерезисных потерь в колесе можно пренебречь. Тогда общий снос $\Delta x$ боковой реакции дает формула:

$$\Delta x \approx \frac{l_{пк}}{2} \cdot s - \frac{R_x}{C_{шx}},$$

где $C_{шx}$ — продольная жёсткость шины.

Установлено, что обе приведенные выше формулы имеют ограничение по величине составляющей $e$: они справедливы при $s \approx 0...0{,}67$, а при $s > 0{,}67$ начинает скользить всё пятно контакта.

Известно, что в пятне контакта шины с дорогой есть 11 моментов, которые воздействуют на управляемое колесо в плоскости, перпендикулярной оси его поворота. Этот момент $M_{x1}$, создаваемый продольной реакцией $R_x$; момент $M_{x2}$, создаваемый той же реакцией из-за наличия сноса; момент $M_{y1}$ от боковой реакции $R_y$ опорной поверхности; момент $M_{y2}$ от сноса этой реакции; момент $M_z$ от дополнительной нормальной реакции опорной поверхности, обусловленной воздействием дорожных неровностей; гироскопический $M_{гир}$ момент от вращения колеса в двух плоскос-

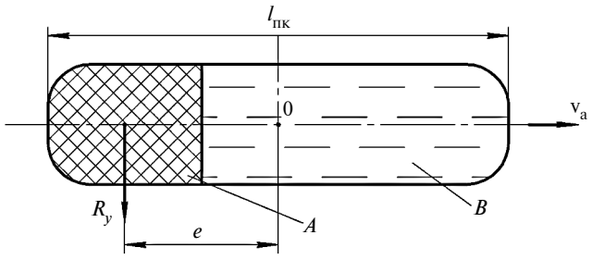



*Рис. 2. Пятно контакта шины с опорной поверхностью*

av0316.fm Page 8 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

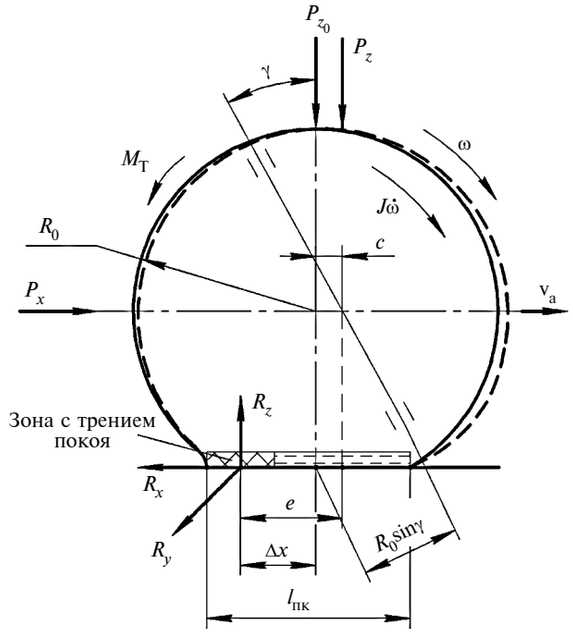



*Рис. 3. Схема, иллюстрирующая влияние положения зоны с трением покоя на образование возмущающего момента в пятне её контакта с опорной поверхностью*

тях; момент $M_{px}$ от продольной податливости подвески; момент $M_{pz}$ от вертикальной её податливости; "весовой" момент $M_G$, стабилизирующий управляемые колёса в плоскости, перпендикулярной оси поворота; момент $M_e$ от дисбаланса колеса; момент $M_{вод}$, создаваемый водителем при повороте управляемых колёс. Причем авторы убеждены, что наиболее существенное влияние на устойчивость движения автомобиля будет оказывать момент $M_{y2}$, поскольку с увеличением плеча реакции $R_y$ он должен расти очень быстро (рис. 3).

Это влияние проявится в изменении параметров движения автомобиля при его торможении в присутствии боковой силы (поворот, смена полосы движения, боковой ветер, боковой уклон дороги, наличие неоднородности сцепных свойств по ширине дороги и т.п.).

Учёт положения зон с трением покоя и скольжения в пятне контакта шины с опорной поверхностью позволяет повысить качество математических моделей для расчётного предпроектного моделирования свойств активной безопасности автомобилей. Следовательно, пренебрегать этим обстоятельством нельзя.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 14-08-00042*

УДК 629.113.001

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ПОЛНООПОРНОМ РОЛИКОВОМ СТЕНДЕ

**А.В. БОЙКО, А.И. ФЕДОТОВ**
Иркутский национальный исследовательский ТУ (8.915. 929-36-50)

*Приводится разработанная математическая модель процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде, которая позволяет выполнять аналитические исследования тормозной эффективности и устойчивости автомобиля при торможении на роликовом стенде с учётом влияния ограничителя его продольного перемещения и непараллельности осей автомобиля относительно оси стенда.*

***Ключевые слова:*** *математическая модель, диагностирование, роликовые стенды.*

**Bojko A.V., Fedotov A.I.**

**SPATIAL MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF BRAKING OF THE CAR AT THE FULL-BASIC ROLLER STAND**

*The developed mathematical model process of braking of the car at the full-basic roller stand which allows to carry out analytical researches of brake efficiency and stability of the car when braking at the roller stand taking into account influence of the limiter of its longitudinal movement and not parallelism of axes of the car concerning a stand axis is devoted.*

***Keywords:*** *mathematical model, diagnosing, roller stands.*

В последние годы стали активно развиваться высокоэффективные динамические методы диагностирования на роликовых стендах АТС и их систем. Они, в частности, успешно применяются для диагностирования тормозных систем, в том числе и тех, которые имеют в своем составе АБС [1]. Однако анализ публикаций по этой теме [2, 3 и др.] показывает: при практическом применении этих новых методов диагностирования тормозных систем работники СТОА, измеряя тормозные силы, как правило, не учитывают перемещения колес АТС на роликах стендов. Что вносит большие погрешности в результаты измерений.

Чтобы проверить, так ли это, авторы разработали пространственную математическую модель процесса функционирования тормозной системы автомобиля во время его диагностирования на стенде с беговыми барабанами. В ней за прототип описания они взяли серийный инерционно-силовой роликовый стенд, на котором можно проверять тормозную систему двухосных автомобилей — как оснащённых, так и не оснащённых АБС.

Для формирования уравнений математической модели были составлены соответствующие расчётные схемы, на которых автомобиль представлен в виде колебательной системы подрессоренной массы, обладающей шестью степенями свободы, его подвеска автомобиля — в виде параллельно работающих упругих элементов и демпферов, а ограничители перемещения автомобиля — в виде цепи (рис. 1, 2 и 3). Процесс движения автомобиля в пространстве, как обычно, рассматривался в системе координат *XYZ*, связанной с рамой стенда.

В этой модели были приняты 10 следующих допущений: свободный радиус эластичных шин у всех

av0316.fm Page 9 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

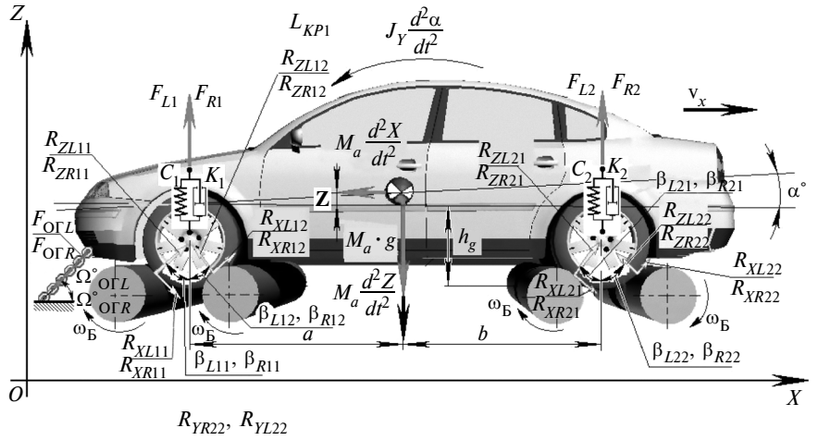



*Рис. 1. Расчётная схема процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде (плоскость XOZ)*

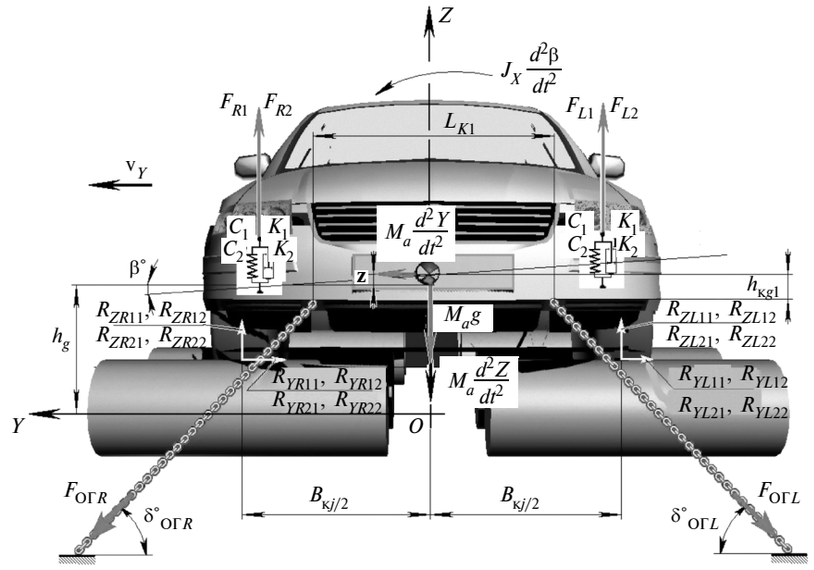



*Рис. 2. Расчётная схема процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде (плоскость YOZ)*

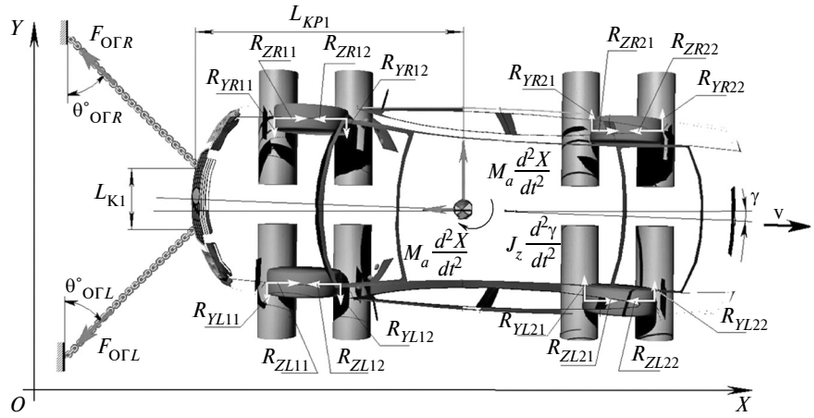



*Рис. 3. Расчётная схема процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде (плоскость XOY)*

колёс автомобиля одинаков; его кузов — абсолютно твёрдое тело; неуравновешенность и гироскопические моменты его вращающихся масс равны нулю; углы поворота правого и левого управляемых колес одинаковы; при вертикальном перемещении колёс относительно опорной поверхности и кузова плоскости их вращения и размера колеи не меняются; точки приложения реакций опорной поверхности роликов стенда к шинам располагаются в середине пятна контакта; все ролики стенда расположены строго в горизонтальной плоскости; силы аэродинамического сопротивления равны нулю; двигатель автомобиля во время торможения отсоединен от трансмиссии; зазоры в рулевом управлении и элементах подвесок отсутствуют.

Дифференциальные уравнения движения автомобиля были составлены в проекциях на оси координат. После решения относительно их старших производных уравнение для его ускорения $\frac{d^2x}{dt^2}$ вдоль оси $OX$ будет иметь вид формулы № 1 (см. таблицу), для ускорения $\frac{d^2y}{dt^2}$ вдоль оси $OY$ — формулы № 2, для ускорения $\frac{d^2z}{dt^2}$ вдоль оси $OZ$ — формулы № 3. Формула для угловой скорости $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ поворота относительно оси $OX$ — это формула № 4, а формула для моментов $M_{\alpha R1}$, создаваемых реакциями опорных поверхностей относительно центра масс автомобиля и оси $OX$ на переднем правом колесе — № 5, моментов $M_{\alpha L1}$ переднем левом — № 6, моментов $M_{\alpha R2}$ на заднем правом — № 7, моментов $M_{\alpha L2}$ на заднем левом — № 8.

Дифференциальное уравнение угловой скорости $\frac{d^2\beta}{dt^2}$ автомобиля относительно оси $OY$ имеет вид формулы № 9, уравнение моментов $M_{\beta R1}$, создаваемых реакциями опорных поверхностей роликов на переднем правом колесе относительно оси $OY$ — формулы № 10, моментов

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 1 | $$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\begin{gathered} R_{XL11}\cos\delta_{L1} + R_{XL12}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L12} + \\ + R_{ZL11}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L11} R_{ZL12}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L12} - \\ -R_{YL11}\sin\delta_{L1}\sin\beta_{L11} - R_{YL12}\sin\delta_{L1}\sin\beta_{L12} + \\ + R_{XR11}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R11} + \\ + R_{XR12}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R12} - R_{ZR11}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R11} - \\ -R_{ZR12}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R12} - R_{YR11}\sin\delta_{R1}\sin\beta_{R11} - \\ -R_{YR12}\sin\delta_{R1}\sin\beta_{R12} + R_{XL21}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L21} + \\ + R_{XL22}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L22} + \\ + R_{ZL21}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L21} - R_{ZL22}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L22} - \\ -R_{YL21}\sin\delta_{L2}\sin\beta_{L21} - R_{YL22}\sin\delta_{L2}\sin\beta_{L22} + \\ + R_{XR21}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R21} + \\ + R_{XR22}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R22} + R_{ZR21}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R21} - \\ -R_{ZR22}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R22} - R_{YR21}\sin\delta_{R2}\sin\beta_{R21} - \\ -R_{YR22}\sin\delta_{R2}\sin\beta_{R22} - \end{gathered}}{M_a} - \frac{dy\omega_z}{dt}$$ | $R_{XL11}$, $R_{XL12}$, $R_{XR11}$, $R_{XR12}$, $R_{XL21}$, $R_{XL22}$, $R_{XR21}$, $R_{XR22}$ — продольные касательные реакции на правом, левом, передних и задних колесах автомобиля; $R_{YL11}$, $R_{YL12}$, $R_{YR11}$, $R_{YR12}$, $R_{YL21}$, $R_{YL22}$, $R_{YR21}$, $R_{YR22}$ — поперечные касательные реакции на тех же колесах; $R_{ZL11}$, $R_{ZL12}$, $R_{ZR11}$, $R_{ZR12}$, $R_{ZL21}$, $R_{ZL22}$, $R_{ZR21}$, $R_{ZR22}$ — нормальные реакции на тех же колесах; $\beta_{L11}$, $\beta_{L12}$, $\beta_{R11}$, $\beta_{R12}$, $\beta_{L21}$, $\beta_{L22}$, $\beta_{R21}$, $\beta_{R22}$ — углы между вектором нормальной реакции и поперечной плоскостью симметрии автомобиля; $F_{ОГR}$ и $F_{ОГL}$ — усилие в ограничителях перемещения с правой и левой стороны; ; $\delta_{L1}$, $\delta_{R1}$, $\delta_{L2}$, $\delta_{R2}$ — углы увода колес; $\omega_z$ — угловая скорость массы автомобиля относительно оси $OZ$ автомобиля; $\Omega_{ОГR}$ и $\Omega_{ОГL}$ — угол наклона ограничителя перемещения |
| 2 | $$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\begin{gathered} -R_{YL11}\cos\delta_{L1} - R_{YL12}\cos\delta_{L1} - \\ -R_{XL11}\sin\delta_{L1}\cos\beta_{L11} - R_{XL12}\sin\delta_{L1}\cos\beta_{L12} - \\ -R_{ZL11}\sin\delta_{L1}\sin\beta_{L11} - R_{ZL12}\sin\delta_{L1}\sin\beta_{L12} - \\ -R_{YR11}\cos\delta_{R1} - R_{YR12}\cos\delta_{R1} - \\ -R_{XR11}\sin\delta_{R1}\cos\beta_{R11} + R_{XR12}\sin\delta_{R1}\cos\beta_{R12} - \\ -R_{RZ11}\sin\delta_{R1}\sin\beta_{R11} + R_{ZR12}\sin\delta_{R1}\sin\beta_{R12} - \\ -R_{YR21}\cos\delta_{R2} - R_{YR22}\cos\delta_{R2} - R_{XL21}\sin\delta_{L2}\cos\beta_{L21} - \\ -R_{XL22}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L22} + R_{ZL21}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L21} - \\ -R_{ZR22}\sin\delta_{R2}\sin\beta_{R22} - R_{YR21}\sin\delta_{R2} - R_{YR22}\sin\delta_{R2} - \\ -R_{ZR21}\sin\delta_{R2}\sin\beta_{R21} + R_{ZR22}\sin\delta_{R2}\sin\beta_{R22} + \\ + F_{ОГR}\cos\delta_{ОГR}\cos\theta_{ОГL} - F_{ОГL}\cos\delta_{ОГL}\cos\theta_{ОГL} \end{gathered}}{M_a} - \frac{dx\omega_z}{st}$$ | — |
| 3 | $$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{\begin{pmatrix} F_{L1} + F_{R1} + F_{L2} + F_{R2} - M_1 g - \\ -F_{ОГR}\sin\Omega_{ОГR}\sin\theta_{ОГL} - F_{ОГL}\sin\Omega_{ОГL}\sin\theta_{ОГL} \end{pmatrix}}{M_a}$$ | $F_{L1}$, $F_{R1}$, $F_{L2}$, $F_{R2}$ — усилия в амортизаторах и упругих элементах подвески каждого из четырех колес $M_1$ — подрессоренная масса автомобиля; $M_a$ — его полная масса |
| 4 | $$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{\begin{pmatrix} M_{\alpha R1} + M_{\alpha L1} + M_{\alpha R2} + M_{\alpha L2} - \\ -(F_{ОГR}\cos\Omega_{ОГR}\sin\theta_{ОГR} + F_{ОГL}\sin\Omega_{ОГL}\sin\theta_{ОГL})h_{Kg1} + \\ +(F_{ОГR}\sin\Omega_{ОГR}\sin\theta_{ОГR} + F_{ОГL}\sin\Omega_{ОГL}\sin\theta_{ОГL})L_{Kp1} \end{pmatrix}}{J_Y}$$ | $M_{\alpha R1}$, $M_{\alpha L1}$, $M_{\alpha R2}$, $M_{\alpha L2}$ — моменты, создаваемые реакциями опорных поверхностей при взаимодействии колес с опорными роликами стенда относительно оси $OX$; $h_g$ — высота центра масс автомобиля от опорной поверхности; $L_{Kp1}$ — расстояние от центра масс автомобиля до точки крепления ограничителя; $h_{Kg1}$ — высота крепления ограничителя относительно центра масс |
| 5 | $$\begin{gathered} M_{\alpha R1} = -R_{ZR11}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R11}(a + r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) + \\ + R_{ZR11}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) + z] - \\ - R_{ZR12}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R12}(a - r_{ДR12}\sin\beta_{R12}) + \\ + R_{ZR12}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR12}\sin\beta_{R12}) + z] - \\ - (R_{XR11}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R11} + R_{YR11}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R11})(a + r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) - \\ - R_{XR11}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) + z] + \\ + R_{YR11}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) + z] + \\ + (R_{XR12}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R12} + R_{YR12}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{R12})(a - r_{ДR12}\sin\beta_{R12}) + \\ + R_{XR12}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR12}\sin\beta_{R12}) + z] - \\ - R_{YR12}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{R12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR12}\sin\beta_{R12}) + z] \end{gathered}$$ | $a$ — расстояние от центра масс автомобиля до передней оси; $r_{ДR11}$, $r_{ДR12}$ — кратчайшее расстояние от центра вращения правого переднего колеса до опорных поверхностей, с которыми взаимодействует шина, переднего опорного ролика и заднего опорного ролика; $r_{СВ}$ — свободный радиус; $h_g$ — высота центра масс автомобиля; $z$ — координата перемещения центра масс автомобиля вдоль оси $OZ$ |

av0316.fm Page 11 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

*Продолжение таблицы*

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 6 | $M_{\alpha L1} = -R_{ZL11}\cos\delta_{R1}\cos\beta_{L11}(a + r_{ДL11}\sin\beta_{L11}) + R_{ZL11}\cos\delta_{R1}\sin\beta_{L11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL11}\sin\beta_{L11}) + z] - R_{ZL12}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L12}(a - r_{ДL12}\sin\beta_{L12}) + R_{ZL12}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL12}\sin\beta_{L12}) + z] - (R_{XL11}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L11} + R_{YL11}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L11})(a + r_{ДL11}\sin\beta_{L11}) - R_{XL11}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\sin\beta_{R11}) + z] + R_{YL11}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L11}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL11}\sin\beta_{L11}) + z] + (R_{XL12}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L12} + R_{YL12}\cos\delta_{L1}\cos\beta_{L12})(a - r_{ДL12}\sin\beta_{L12}) + R_{XL12}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL12}\sin\beta_{L12}) + z] - R_{YL12}\cos\delta_{L1}\sin\beta_{L12}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL12}\sin\beta_{L12}) + z]$ | $r_{ДL11}$, $r_{ДL12}$ — кратчайшее расстояние от центра вращения левого переднего колеса до опорных поверхностей, с которыми взаимодействует шина, переднего опорного ролика и заднего опорного ролика соответственно |
| 7 | $M_{\alpha R2} = -R_{ZR21}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R21}(b + r_{ДR21}\sin\beta_{R21}) + R_{ZR21}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR21}\sin\beta_{R21}) + z] - R_{ZR22}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R22}(b - r_{ДR22}\sin\beta_{R22}) + R_{ZR22}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR22}\sin\beta_{R22}) + z] - (R_{XR21}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R21} + R_{YR21}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R21})(b + r_{ДR21}\sin\beta_{R21}) - R_{XR21}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR21}\sin\beta_{R21}) + z] + R_{YR21}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR21}\sin\beta_{R21}) + z] + (R_{XR22}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R22} + R_{YR22}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{R22})(b - r_{ДR22}\sin\beta_{R22}) + R_{XR22}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR22}\sin\beta_{R22}) + z] - R_{YR22}\cos\delta_{R2}\sin\beta_{R22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR22}\sin\beta_{R22}) + z]$ | $b$ — расстояние от центра масс автомобиля до задней оси; $r_{ДR21}$, $r_{ДR22}$ — кратчайшее расстояние от центра вращения правого заднего колеса до опорных поверхностей, с которыми взаимодействует шина, переднего опорного ролика и заднего опорного ролика соответственно |
| 8 | $M_{\alpha L2} = -R_{ZL21}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L21}(b + r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) + R_{ZL21}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) + z] - R_{ZL22}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L22}(b - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) + R_{ZL22}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) + z] - (R_{XL21}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L21} + R_{YL21}\cos\delta_{R2}\cos\beta_{L21})(b + r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) - R_{XL21}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) + z] + R_{YL21}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L21}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) + z] + (R_{XL22}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L22} + R_{YL22}\cos\delta_{L2}\cos\beta_{L22})(b - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) + R_{XL22}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) + z] - R_{YL22}\cos\delta_{L2}\sin\beta_{L22}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) + z]$ | $r_{ДL21}$, $r_{ДL22}$ — кратчайшее расстояние от центра вращения левого заднего колеса до опорных поверхностей, с которыми взаимодействует шина, переднего опорного ролика и заднего опорного ролика соответственно |
| 9 | $\frac{d^2\beta}{dt^2} = \frac{M_{\beta R1} + M_{\beta L1} + M_{\beta R2} + M_{\beta L2} + F_{ОГ R}\sin\Omega_{ОГ R}\sin\theta_{ОГ R}\frac{L_{K1}}{2} - F_{ОГ R}\cos\delta_{ОГ R}\cos\theta_{ОГ R}h_{Kg1} + F_{ОГ L}\sin\Omega_{ОГ L}\sin\theta_{ОГ L}\frac{L_{K1}}{2} + F_{ОГ L}\cos\delta_{ОГ L}\cos\theta_{ОГ L}L_{Kg1}}{J_X}$ | $M_{\beta R1}$, $M_{\beta L1}$, $M_{\beta R2}$, $M_{\beta L2}$ — моменты, создаваемые реакциями опорных поверхностей относительно оси $OY$; $h_{Kg1}$ — расстояние в вертикальной плоскости между центром масс автомобиля до крепления ограничителя перемещения (рис. 3); $L_{K1}$ — кратчайшее расстояние между точками крепления ограничителя перемещения автомобиля (рис. 4); $J_X$ — осевой момент инерции кузова автомобиля относительно оси $OX$ |
| 10 | $M_{\beta R1} = (-R_{ZR11}\cos\beta_{R11} - R_{ZR12}\cos\beta_{R12})\cos\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} + (R_{XR11}\sin\beta_{R11} - R_{XR12}\sin\beta_{R12})\cos\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} + (R_{YR11}\sin\beta_{R11} - R_{YR12}\sin\beta_{R12})\sin\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} + R_{XR11}\cos\beta_{R11}\sin\delta_{R1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\cos\beta_{R11}) + z] - R_{XR12}\cos\beta_{R12}\sin\delta_{R1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR12}\cos\beta_{R12}) + z] - R_{YR11}\sin\beta_{R11}\cos\delta_{R1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR11}\cos\beta_{R11}) + z] - R_{YR12}\sin\beta_{R12}\cos\delta_{R1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДR12}\cos\beta_{R12}) + z]$ | $B_{K1}$ — колея передних колес автомобиля |
| 11 | $M_{\beta L1} = (R_{ZL11}\cos\beta_{L11} - R_{ZL12}\cos\beta_{L12})\cos\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} + (-R_{XL11}\sin\beta_{L11} - R_{XL12}\sin\beta_{L12})\cos\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} + (-R_{YL11}\sin\beta_{L11} - R_{YL12}\sin\beta_{L12})\sin\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} + R_{XL11}\cos\beta_{L11}\sin\delta_{L1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL11}\cos\beta_{L11}) + z] - R_{XL12}\cos\beta_{L12}\sin\delta_{L1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL12}\cos\beta_{L12}) + z] - R_{YL11}\sin\beta_{L11}\cos\delta_{L1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL11}\cos\beta_{L11}) + z] - R_{YL12}\text{sun}\beta_{L12}\cos\delta_{L1}[h_g - (r_{СВ} - r_{ДL12}\cos\beta_{L12}) + z]$ | — |

*Продолжение таблицы*

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 12 | $M_{\beta R2} = (-R_{ZR21}\cos\beta_{R21} - R_{ZR22}\cos\beta_{R22})\cos\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} + (R_{XR21}\sin\beta_{R21} - R_{XR22}\sin\beta_{R22})\cos\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} + (R_{YR21}\sin\beta_{R21} - R_{YR22}\sin\beta_{R22})\sin\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} + R_{XR21}\cos\beta_{R21}\sin\delta_{R2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}R21}\cos\beta_{R21}) + z] - R_{XR22}\cos\beta_{R22}\sin\delta_{R2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}R22}\cos\beta_{R22}) + z] - R_{YR21}\sin\beta_{R21}\cos\delta_{R2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}R21}\cos\beta_{R21}) + z] - R_{YR22}\sin\beta_{R22}\cos\delta_{R2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}R22}\cos\beta_{R22}) + z]$ | $B_{K2}$ — колея задних колес автомобиля |
| 13 | $M_{\beta L2} = (R_{ZL21}\cos\beta_{L21} - R_{ZL22}\cos\beta_{L22})\cos\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} + (-R_{XL21}\sin\beta_{L21} + R_{XL22}\sin\beta_{L22})\cos\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} + (-R_{YL21}\sin\beta_{L21} + R_{YL22}\sin\beta_{L22})\sin\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} + R_{XL21}\cos\beta_{L21}\sin\delta_{L2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}L21}\cos\beta_{L21}) + z] - R_{XL22}\cos\beta_{L22}\sin\delta_{L2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}L22}\cos\beta_{L22}) + z] - R_{YL11}\sin\beta_{L11}\cos\delta_{L2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}L11}\cos\beta_{L11}) + z] - R_{YL22}\text{sun}\beta_{L22}\cos\delta_{L2}[h_g - (r_{\text{СВ}} - r_{\text{Д}L22}\cos\beta_{L22}) + z]$ | — |
| 14 | $\frac{d^2\beta}{dt^2} = \frac{M_{\gamma R1} + M_{\gamma L1} + M_{\gamma R2} + M_{\gamma L2} + (F_{\text{ОГ}R}\sin\Omega_{\text{ОГ}R}\sin\theta_{\text{ОГ}R} - F_{\text{ОГ}R}\cos\delta_{\text{ОГ}R}\cos\theta_{\text{ОГ}R})L_{K1} + (F_{\text{ОГ}L}\sin\Omega_{\text{ОГ}L}\sin\theta_{\text{ОГ}L} - F_{\text{ОГ}L}\cos\delta_{\text{ОГ}L}\cos\theta_{\text{ОГ}L})L_{Kp1}}{J_Z}$ | $M_{\gamma R1}$, $M_{\gamma L1}$, $M_{\gamma R2}$, $M_{\gamma L2}$ — моменты, создаваемые реакциями опорных поверхностей относительно оси $OZ$; $\gamma$ — угол поворота автомобиля относительно этой оси $OZ$ |
| 15 | $M_{\gamma R1} = (R_{ZR11}\sin\beta_{R11} + R_{XR11}\cos\beta_{R11})\cos\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} - R_{YR11}\cos\beta_{R11}\sin\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} - (R_{ZR11}\sin\beta_{R11} + R_{XR11}\cos\beta_{R11}) \times \sin\delta_{R1}(a + r_{\text{Д}R11}\sin\beta_{R11}) - R_{YR11}\cos\beta_{R11}\cos\delta_{R1}(a + r_{\text{Д}R11}\sin\beta_{R11}) + (-R_{ZR12}\sin\beta_{R12} + R_{XR12}\cos\beta_{R12})\cos\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} - R_{YR12}\cos\beta_{R12}\sin\delta_{R1}\frac{B_{K1}}{2} - (R_{ZR12}\sin\beta_{R12} + R_{XR12}\cos\beta_{R12}) \times \sin\delta_{R1}(a - r_{\text{Д}R12}\sin\beta_{R12}) - R_{YR12}\cos\beta_{R12}\cos\delta_{R1}(a - r_{\text{Д}R12}\sin\beta_{R12})$ | — |
| 16 | $M_{\gamma L1} = (-R_{ZL11}\sin\beta_{L11} - R_{XL11}\cos\beta_{L11})\cos\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} - R_{YL11}\cos\beta_{L11}\sin\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} - (R_{ZL11}\sin\beta_{L11} + R_{XL11}\cos\beta_{L11}) \times \sin\delta_{L1}(a + r_{\text{Д}L11}\sin\beta_{L11}) - R_{YL11}\cos\beta_{L11}\cos\delta_{L1}(a + r_{\text{Д}L11}\sin\beta_{L11}) + (R_{ZL12}\sin\beta_{L12} - R_{XL12}\cos\beta_{L12})\cos\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} - R_{YL12}\cos\beta_{L12}\sin\delta_{L1}\frac{B_{K1}}{2} - (R_{ZL12}\sin\beta_{L12} - R_{XL12}\cos\beta_{L12}) \times \sin\delta_{L1}(a - r_{\text{Д}L12}\sin\beta_{L12}) - R_{YL12}\cos\beta_{L12}\cos\delta_{L1}(a - r_{\text{Д}L12}\sin\beta_{L12})$ | — |
| 17 | $M_{\gamma R2} = (R_{ZR21}\sin\beta_{R21} + R_{XR21}\cos\beta_{R21})\cos\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} - R_{YR21}\cos\beta_{R21}\sin\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} - (R_{ZR21}\sin\beta_{R21} - R_{XR22}\sin\beta_{R21})\sin\delta_{R2}(b - r_{\text{Д}R21}\sin\beta_{R21}) - R_{YR21}\cos\beta_{R21}\cos\delta_{R2}(b - r_{\text{Д}R21}\sin\beta_{R21}) - (-R_{ZR22}\sin\beta_{R22} + R_{XR22}\cos\beta_{R22})\cos\delta_{R2}\frac{B_{K1}}{2} - R_{YR22}\cos\beta_{R22}\sin\delta_{R2}\frac{B_{K2}}{2} - (R_{ZR22}\sin\beta_{R22} + R_{XR22}\cos\beta_{R22})\sin\delta_{R2}(b + r_{\text{Д}R22}\sin\beta_{R22}) - R_{YR22}\cos\beta_{R22}\cos\delta_{R2}(a + r_{\text{Д}R22}\sin\beta_{R22})$ | — |

*Продолжение таблицы*

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 18 | $M_{\gamma L2} = (-R_{ZL21}\sin\beta_{L21} - R_{XL21}\cos\beta_{L21})\cos\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} - R_{YL21}\cos\beta_{L21}\sin\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} - (R_{ZL21}\sin\beta_{L21} + R_{XL21}\cos\beta_{L21}) \times \sin\delta_{L2}(b - r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) - R_{YL21}\cos\beta_{L21}\cos\delta_{L2}(b + r_{ДL21}\sin\beta_{L21}) + (R_{ZL22}\sin\beta_{L22} - R_{XL22}\cos\beta_{L22})\cos\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} - R_{YL22}\cos\beta_{L22}\sin\delta_{L2}\frac{B_{K2}}{2} - (R_{ZL22}\sin\beta_{L22} - R_{XL22}\cos\beta_{L22}) \times \sin\delta_{L2}(b - r_{ДL22}\sin\beta_{L22}) - R_{YL22}\cos\beta_{L22}\cos\delta_{L2}(b + r_{ДL22}\sin\beta_{L22})$ | — |
| 19 | $\frac{d^2 Z_{L1}}{dt^2} = \frac{-R_{XL11}\sin\beta_{L11}\cos\delta_{L1} + R_{XL12}\sin\beta_{L12}\cos\delta_{L1} + R_{ZL11}\cos\beta_{L11}\cos\delta_{L1} + R_{ZL12}\cos\beta_{L12}\cos\delta_{L1} - R_{YL11}\sin\beta_{L11}\sin\delta_{L1} + R_{YL12}\sin\beta_{L12}\sin\delta_{L1} - F_{L1} - M_p g}{M_p}$ | $M_p$ — неподрессоренная масса автомобиля |
| 20 | $\frac{d^2 Z_{R1}}{dt^2} = \frac{-R_{XR11}\sin\beta_{R11}\cos\delta_{R1} + R_{XR12}\sin\beta_{R12}\cos\delta_{R1} + R_{ZR11}\cos\beta_{R11}\cos\delta_{L1} + R_{ZR12}\cos\beta_{R12}\cos\delta_{R1} - R_{YR11}\sin\beta_{R11}\sin\delta_{R1} + R_{YR12}\sin\beta_{R12}\sin\delta_{R1} - F_{R1} - M_p g}{M_p}$ | — |
| 21 | $\frac{d^2 Z_{L2}}{dt^2} = \frac{-R_{XL21}\sin\beta_{L21}\cos\delta_{L2} + R_{XL22}\sin\beta_{L22}\cos\delta_{L2} + R_{ZL21}\cos\beta_{L21}\cos\delta_{L2} + R_{ZL22}\cos\beta_{L22}\cos\delta_{L2} - R_{YL21}\sin\beta_{L21}\sin\delta_{L2} + R_{YL22}\sin\beta_{L22}\sin\delta_{L2} - F_{L2} - M_p g}{M_p}$ | — |
| 22 | $\frac{d^2 Z_{R2}}{dt^2} = \frac{-R_{XR21}\sin\beta_{R21}\cos\delta_{R2} + R_{XL2R}\sin\beta_{R22}\cos\delta_{R2} + R_{ZR21}\cos\beta_{R21}\cos\delta_{R2} + R_{ZR22}\cos\beta_{R22}\cos\delta_{R2} - R_{YR21}\sin\beta_{R21}\sin\delta_{R2} + R_{YR22}\sin\beta_{R22}\sin\delta_{R2} - F_{R2} - M_p g}{M_p}$ | — |
| 23 | $V_{L1} = \frac{d\beta B_{K1}}{2dt} + \frac{d\alpha a}{dt} - \frac{dz}{dt}$; $V_{R1} = \frac{d\beta B_{K1}}{2dt} + \frac{d\alpha a}{dt} - \frac{dz}{dt}$; $V_{L2} = \frac{d\beta B_{K2}}{2dt} + \frac{d\alpha b}{dt} - \frac{dz}{dt}$; $V_{R2} = \frac{d\beta B_{K2}}{2dt} + \frac{d\alpha b}{dt} - \frac{dz}{dt}$; | $\alpha$ — угол деферента кузова автомобиля; $\beta$ — угол крена автомобиля |
| 24 | $Z_{ijt} = Z_{ijt-1} + V_{ij}dt$ | $Z_{ijt}$ — деформации упругих элементов подвесок в момент времени $t$; $Z_{ijt-1}$ — деформации упругих элементов подвесок в предыдущий момент времени $t - 1$; $i$ — индекс колеса ($R$ — правое, $L$ — левое); $j$ — индекс оси (1— передняя, 2 — задняя) |
| 25 | $F_{ij} = Z_{ij}C_j + K_j V_{ij}$ | $C_j$ — жесткости упругих элементов подвески каждого из четырех колес; $K_j$ — коэффициенты демпфирования амортизаторов, изменяющие свои значения в зависимости от хода подвески ($K_{cj}$ — сжатие, $K_{oj}$ — отбой) |
| 26 | $F_{ОГL} = C_{ОГ} - K_{ОГL}v_{ОГL}$; $F_{ОГR} = C_{ОГ}X_{ОГR} - K_{ОГR}v_{ОГR}$ | $C_{ОГ}$ — жесткость ограничителя перемещения; $K_{ОГL}$ и $K_{ОГR}$ — коэффициент демпфирования левого и правого ограничителей перемещения автомобиля; $X_{ОГL}$ и $X_{ОГR}$ — деформация левого и правого ограничителей; $v_{ОГL}$ и $v_{ОГR}$ — скорость деформации левого и правого ограничителей перемещения автомобиля |

*Окончание таблицы*

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 27 | $C_{ОГLi+1} = X_{ОГLi} + v_{ОГL}dt$; $X_{ОГRi+1} = X_{ОГRi} + v_{ОГR}dt$ | |
| 28 | $v_{ОГL} = \sqrt{v_{KZL}^2 + v_{KXL}^2 + v_{KYL}^2}$; $v_{ОГR} = \sqrt{v_{KZR}^2 + v_{KXR}^2 + v_{KYR}^2}$ | $v_{KZL}$ и $v_{KZR}$ — скорости перемещения автомобиля вдоль оси $OZ$ в точках крепления ограничителей |
| 29 | $v_{KZL} = \frac{d\beta L_{K1}}{2dt} + \frac{d\alpha L_{KP1}}{dt} - \frac{dz}{dt}$; $v_{KZR} = -\frac{d\beta L_{K1}}{2dt} + \frac{d\alpha L_{KP1}}{dt} - \frac{dz}{dt}$ | — |
| 30 | $v_{KXL} = \frac{d\gamma L_{K1}}{2dt} + \frac{dx}{dt}$; $v_{KXR} = -\frac{d\gamma L_{K1}}{2dt} + \frac{dx}{dt}$ | — |
| 31 | $v_{KYL} = \frac{d\gamma L_{K1}}{2dt} + \frac{dy}{dt}$; $v_{KYR} = -\frac{d\gamma L_{K1}}{2dt} + \frac{dy}{dt}$ | — |

$M_{\beta L1}$ на переднем левом колесе — формулы № 11, моментов $M_{\beta R2}$ на заднем правом — формулы № 12, моментов на заднем левом — формулы № 13. Уравнение для расчёта ускорения $\frac{d^2\gamma}{dt^2}$ автомобиля относительно оси $OZ$ имеет вид формулы № 14.

Уравнение моментов $M_{\gamma R1}$, создаваемых реакциями опорных поверхностей относительно оси $OZ$, на переднем правом колесе — это формула № 15, моментов $M_{\gamma L1}$ на переднем левом — № 16, моментов $M_{\gamma R2}$ на заднем правом — № 17, моментов $M_{\gamma L2}$ на заднем левом — № 18.

Дифференциальные уравнения для расчёта реакций колёс автомобиля составлены в проекциях на ось $OZ$. После их решения относительно старших производных они записываются в виде формул № 19 (для расчёта вертикального ускорения $\frac{d^2Z_{L1}}{dt^2}$ переднего левого колеса), № 20 (для расчёта вертикального ускорения $\frac{d^2Z_{R1}}{dt^2}$ переднего правого колеса) № 21 (для расчёта вертикального ускорения $\frac{d^2Z_{L2}}{dt^2}$ заднего левого колеса) и № 22 (для расчёта вертикального ускорения $\frac{d^2Z_{R2}}{dt^2}$ заднего правого колеса).

Усилия в амортизаторах и упругих элементах подвески ($F_{L1}$, $F_{R1}$, $F_{L2}$, $F_{R2}$ соответственно) определены с учётом деформаций упругих элементов подвески каждого из четырех колёс автомобиля и скоростей их изменения [1], а скорости деформации упругих элементов подвески описаны уравнениями, которые учитывают угловые скорости крена и деферента кузова автомобиля относительно осей $X$ и $Y$, а также скорость перемещения центра масс автомобиля вдоль оси $Z$ (формулы № 23).

Значения деформаций $Z_{ijt}$ упругих элементов подвесок в момент времени $t$ определялись с помощью уравнения, предложенного в работе [2], т.е. по формуле № 24.

На основании формул № 23 и 24 по формуле № 25 определяются усилия $F_{ij}$ в амортизаторах и упругих элементах подвески. Усилия $F_{ОГL}$ и $F_{ОГR}$, создаваемые в ограничителе перемещения автомобиля, рассчитываются аналогично расчёту усилий, действующих в подвеске, т.е. по формулам № 26.

Деформации $X_{ОГLi+1}$ и $X_{ОГRi+1}$ каждого из ограничителей описаны уравнениями, которые учитывают скорость их деформаций, угловые скорости крена и деферента кузова автомобиля относительно осей $X$ и $Y$, а также скорость перемещения центра масс автомобиля вдоль оси $Z$ (формулы № 27). При этом входящие в них параметры $v_{ОГL}$ и $v_{ОГR}$ дают формулы № 29. Скорости же $v_{KXL}$ и $v_{KXR}$ — перемещения автомобиля вдоль оси $OX$ в точках крепления ограничителей — по формулам № 30, а скорости $v_{KYL}$ и $v_{KYR}$ перемещения автомобиля вдоль оси $OY$ в точках крепления ограничителей — по формулам № 31.

В основу математического описания динамики работы колёс с эластичными шинами были положены уравнения стационарных характеристик, разработанные А.Б. Диком и Н.В. Pacejka [3, 4]. Для определения деформаций шин на стенде использованы формулы, учитывающие геометрию положений колёс на его роликах. Работа тормозного механизма моделировалась с помощью математического описания, разработанного авторами, а также с использованием идеи, предложенной И.М. Григорьевым. Математическое описание работы электронного блока управления АБС предусматривало два варианта — с использованием как трехфазного, так "ступенчатого" алгоритмов. Работа модулятора всегда сопровождается практически неустранимыми задержками, которые очень существенно влияют на работу АБС и эффективность торможения, поэтому они тоже были учтены при разработке математического описания.

В качестве конкретного примера использования рассмотренной выше математической модели можно привести рис. 4 и 5. На них приведены результаты математического моделирования процесса торможения ав-

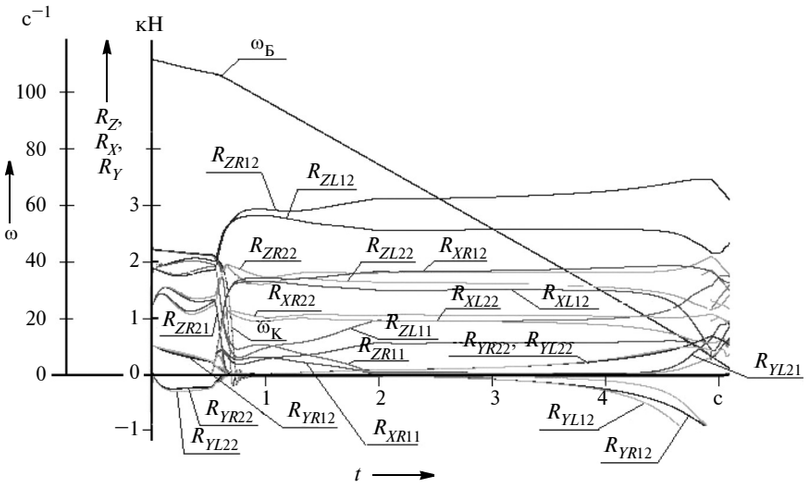



*Рис. 4. Результаты математического моделирования процесса торможения автомобиля "Тойота Королла" на полноопорном роликовом стенде при жесткости ограничителя перемещения, равной $0{,}4 \cdot 10^4$ Н/м, при угле поворота передних колес на 2°*

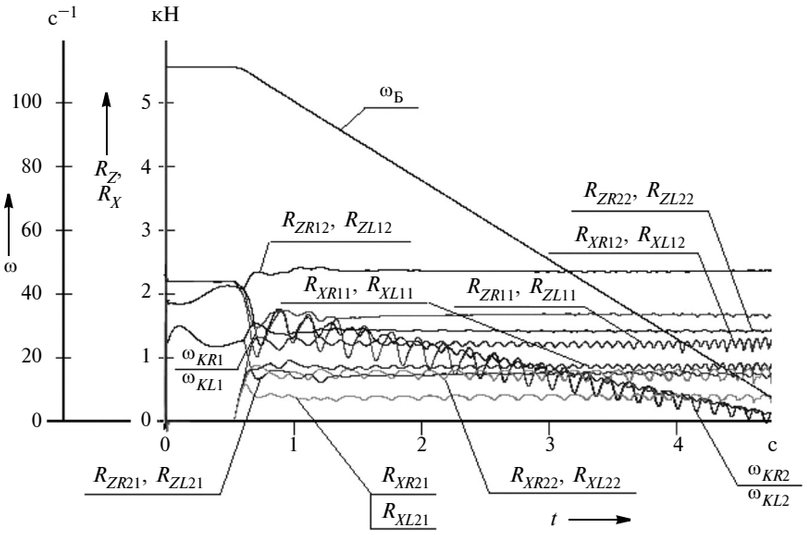



*Рис. 5. Результаты математического моделирования процесса торможения автомобиля "Тойота Королла" с функционирующей АБС на полноопорном роликовом стенде при жесткости ограничителя продольного перемещения автомобиля, равной $2{,}4 \cdot 10^4$ Н/м*

томобиля "Тойота Королла" при следующих исходных данных: масса $m_a$ автомобиля — 1100 кг, колея $B_{K1}$ его передних колес — 1,43 м, колея $B_{K2}$ задних колёс — 1,435 м, коэффициент сцепления шин с роликами стенда в продольной плоскости — 0,64, коэффициент бокового сцепления — 0,62. При этом рис. 4 отображает результаты моделирования процесса торможения автомобиля без АБС но с поворотом управляемых колёс на 2°, а на рис. 5 — то же при работающей АБС.

Сравнение этих рисунков показывает: они настолько отличаются, что обнаружить неработающую АБС может даже неспециалист.

Это пример возможности математического моделирования неполадки АБС, которую может обнаружить любой водитель. Авторы также вводили в математическую модель и варианты позиционирования автомобиля на полноопорном роликовом стенде. В итоге оказалось, что рассмотренная выше математическая модель во всех случаях позволяет выявлять изменения силовых и кинематических параметров процесса торможения при изменении позиционирования автомобиля, которое вызвано угловыми и линейными его перемещениями. Это означает, что математическая модель является хорошим инструментом, позволяющим определить пригодность (или непригодность) каждой конкретной модели роликовых стендов для точного диагностирования тормозных систем автомобилей.

И последнее. Рассмотренная выше математическая модель позволяет, кроме того, моделировать процесс торможения автомобиля с непараллельностью его диагностируемых осей относительно оси стенда и определять зависимости погрешностей измерения силовых параметров процесса торможения от способа ограничения перемещений автомобиля на стенде. Для исходного позиционирования автомобиля на стенде. То есть использовать в целях диагностирования и контроля состояния тормозных систем автомобилей даже устаревшие модели роликовых стендов.

**Литература**


1. Иларионов В.А., Пчелин И.К. Пространственная математическая модель для исследования активной безопасности автомобиля / Сборник "Исследование торможения автомобиля и работы пневматических шин". — Омск: СибАДИ, 1979. 17 с.
2. Бойко А.В. Совершенствование метода диагностики тормозных систем автомобилей в условиях эксплуатации на силовых стендах с беговыми барабанами / Бойко А.В. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иркутский государственный технический университет. Иркутск, 2008.
3. Дик А.Б. Описание характеристик проскальзывания тормозящего колеса / А.Б. Дик // Надежность и активная безопасность автомобиля: сб. науч. тр. / МАМИ. — М., 1985. — С. 205...216.
4. Pacejka H.B. Tireand Vehicle Dynamics, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
5. Бойко А.В., Корчагин В.А. и др. Математическая модель процесса торможения колеса в составе ABS / Сборник материалов 90-й Международной научно-технической конференции "Автомобили для Сибири и Крайнего Севера Конструкция, Эксплуатация, Экономика (Иркутск, 9—10 апреля 2015 г.) Иркутск: ИРНИТУ, 2015. — С. 409...418.

av0316.fm Page 16 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

# *Уважаемые авторы и читатели!*

Редакция и редакционная коллегия сообщают: научно-технический журнал
"АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ"
успешно прошел аккредитацию в ВАК для публикации работ
соискателей ученых степеней по трем отраслям наук:
*05.00.00 — технические науки,*
*02.00.00 — химические науки,*
*08.00.00 — экономические науки*
и пяти группам специальностей:
*05.02.00 — машиностроение и машиноведение,*
*05.05.00 — транспортное, горное и строительное машиностроение,*
*05.04.00 — энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение,*
*05.09.00 — электротехника,*
*05.22.00 — транспорт.*
Напоминаем: статьи следует подавать в редакцию заблаговременно!
С правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте *mashin.ru*

**Министерство образования и науки Российской Федерации**
**Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук**

Здравствуйте, Руслан Владимирович

Выйти

Перечень Заявки Регистрация издания Просмотр зарегистрированных изданий FAQ Инструкция

## Автомобильная промышленность

| | |
|---|---|
| Статус | Издание включено в перечень<br>Показать историю статусов |
| Издание зарегистрировано в следующих международных базах данных | Chemical Abstracts |
| Дата поступления заявки оператору | 2015-11-10 |
| 1. Наименование (название) рецензируемого научного издания | Автомобильная промышленность |
| 6. Адрес редакции рецензируемого научного издания (фактический) | Москва, Колодезный пер., 2а |
| 7. Контактные телефоны/факс редакции рецензируемого научного издания (с указанием кода города) | (915)412-52-56; (499)269-54-98 |
| 8. E-mail редакции рецензируемого научного издания | avtoprom-atd@mail.ru |
| 9. ФИО Главного редактора | Пугин Николай Андреевич |
| 18. Адрес официального сайта в сети Интернет рецензируемого научного издания в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть Интернет) | http://mashin.ru/ |
| 30. Международный стандартный номер серийного издания (ISSN) | 0005-2337 |

av0316.fm Page 17 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

УДК 629.113.066

# МОДЕРНИЗАЦИЯ КЛАССИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ДВС

Д-р техн. наук **Е.Д. СВИЯЖЕНИНОВ**
Санкт-Петербургский ИПМаш РАН (8.905. 227-64-65)

*Предлагается способ усовершенствования роторных систем зажигания для автомобильных ДВС.*

***Ключевые слова:*** *роторный датчик-распределитель зажигания, распределительная (токораздаточная) пластина, ротор цепи высокого напряжения, датчиковая (экранная) пластина, магнитный и световой экран с перфорацией.*

**Sviyazheninov E.D.**

**MODERNIZATION OF CLASSIC ROTARY CONTACTLESS IGNITION TRANSDUCER-DISTRIBUTOR OF DVS**

*A method of improving rotor ignition systems for automotive internal combustion engines is offered.*

***Keywords:*** *rotary ignition transducer-distributor, high-voltage circuit distributing (current dispensing) plate of the rotor, low-voltage circuit transducer (shielding) plate, magnetic and light screen equipped with perforation.*

Современные микропроцессорные системы зажигания, применяемые на автомобильных ДВС, — это, безусловно, правильное направление развития гражданской автомобильной техники. Однако для техники военной они фактически не пригодны. Во-первых, у них очень низкие радиационная, тепловая и электромагнитная устойчивости; во-вторых, их невозможно отремонтировать в полевых условиях; в-третьих, они очень чувствительны к качеству топлива; в-четвертых, для их надежной работы требуется источник питания с очень стабильным напряжением; в-пятых, они выходят из строя даже при малейшем загрязнении электрических контактных групп (разъёмов).

Понятно, что выполнить эти условия даже в мирное время невозможно: ВАТ, как правило, работает там, где обычным АТС, как говорится, делать нечего. Не говоря уже о боевых действиях. Другими словами, микропроцессорная система зажигания с точки зрения простоты, надёжности и ремонтопригодности, возможности диагностирования в полевых условиях, обслуживания, живучести, экономичности и функциональности — не лучшие из решений для ВАТ. Для неё больше подходят традиционные роторные бесконтактные датчики-распределители зажигания, созданные в свое время по тому же принципу, что и автомат Калашникова: "всё нужное — просто, всё сложное — не нужно". В итоге классический бесконтактный датчик-распределитель обладает массой неоспоримых достоинств: он не подвержен тепловому, электромагнитному и радиационному воздействиям, не требует электронных прошивок, практически не дает сбоев в работе, его можно разобрать-собрать "на коленке" и т.д. Но и у него, к сожалению, все-таки есть и недостатки, обусловленные его конструкцией и особенностями работы.

Все роторные датчики-распределители — однолучевые, поэтому работают непроизводительно: большую часть времени тратят на перемещения бегунка от одного электрода к другому. Причём это перемещение осуществляется с очень большой угловой скоростью. Например, в случае двигателей ВАЗ максимальная частота вращения коленчатого вала которых составляет 5800 мин$^{-1}$, частота вращения приводного вала классического датчика-распределителя равна 2900 мин$^{-1}$. Со всеми вытекающими отсюда последствиями: быстрым износом подшипников вала, нарушением работы прерывателя и т.д.

Таково противоречие между требованиями к эффективности ДВС и его системой зажигания. Это и заставило отказаться от роторных распределителей в пользу сложных электронных систем зажигания, не имеющих вращающихся частей [1] и включающих бортовой компьютер с зашитой в него программой, которая содержит многоразмерную таблицу углов опережения зажигания, выбираемых по сигналам десятков датчиков.

Однако, по мнению автора, и более простой путь устранения упомянутого выше противоречия. Это не отказ от роторного датчика-распределителя, а его модификация, сводящаяся к замене однолучевого бегунка многолучевым (см. "АП", 2014, № 6). При этом конструкции центробежного и вакуумного регуляторов угла опережения зажигания остаются теми же, что и у традиционных распределителей зажигания, требуется лишь их соответствующая настройка. Кроме того, в распределитель вводится магнитный или световой экран с прорезями, располагающийся на сенсорной пластине ротора цепи низкого напряжения (рис. 1). Последовательность работы датчика управляющего сигнала низкого напряжения для прямого искрообразования показана на рис. 2, *а*, для обратного — на рис. 2, *б*.

Рассмотрим процесс формирования управляющих импульсов низкого напряжения в модернизированном датчике-распределителе зажигания.

При движении экрана *1* (см. рис. 1) в зазоре *2* между датчиком Холла *3* и магнитом *4* магнитные силовые линии замыкаются через экран, поэтому на датчик Холла *3* не срабатывает, т.е. разность потенциалов в нём равна нулю. Но когда в этот зазор попадает прорезь *2*, на датчик Холла *3* воздействует магнитное поле, и с него снимается разность потенциалов. Таким образом, формируется сигнал об угловом положении коленчатого вала. Этот сигнал поступает в электронный коммутатор, который по этому управляющему

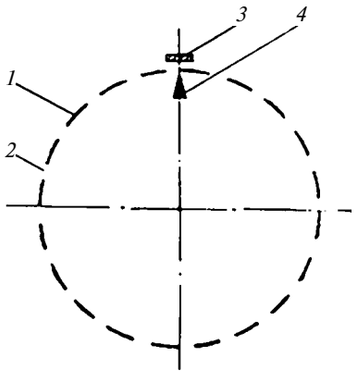



*Рис. 1. Схема сенсорной пластины ротора датчика-распределителя зажигания четырехцилиндрового ДВС в уменьшенном масштабе:*
*1* — экран; *2* — прорезь; *3* — датчик Холла; *4* — магнит

av0316.fm Page 18 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

сигналу прерывает цепь тока низкого напряжения катушки зажигания. В результате во вторичной её цепи, как и в любой системе зажигания, создаётся импульс высокого напряжения, а уже оно через центральный контакт крышки распределителя подается на токораздаточную пластину и с неё — на свечу зажигания.

Из этого следует, что начало управляющего импульса датчика должно быть синхронизировано с моментом приближения очередного токопроводящего луча распределителя к боковому контакту его крышки. Эту задачу решают прорези магнитного экрана. При прямом искрообразовании их угловой шаг δ должен составлять $\frac{2\pi}{n(n+1)}$, а при обратном — $\frac{2\pi}{(n-1)n}$, где $n$ — число цилиндров. Иначе говоря, число прорезей магнитного экрана при прямом искрообразовании должно быть равным $(n + 1)n$, а при обратном — $(n - 1)n$.

Вместо сенсорной холловской пары (датчик Холла *3* и постоянный магнит *4*), без какого-либо изменения компоновочной схемы можно использовать пару, состоящую из фоточувствительного элемента и светодиода, работающего как в видимом, так и в инфракрасном спектре (пат. № 2452066, РФ). В этом случае луч света светодиода выполняет ту же функцию, что и магнитный поток при датчике Холла: он попадает на фоточувствительный элемент (фототранзистор или фотодиод), если в зазоре между ними находится прорезь экрана, и прерывается, когда в зазоре появляется непрозрачная часть экрана. (Поэтому цилиндрическая оболочка-экран обязательно должна выполняться из непрозрачного материала.) Луч, прошедший прорезь экрана, направлен на фотоэлемент, который, как и датчик Холла, открывается, выдавая управляющий сигнал на тот же электронный коммутатор.

Результаты расчёта частоты $n_р$ вращения ротора датчика-распределителя с пятилучевой токораздаточной пластиной приведены на рис. 3, *а*, а длительностей $t_и$ искры — на рис. 4. Как видно из рис. 3, частота $n_р$ вращения такого ротора оказывается ровно в 5 раз ниже частоты вращения ротора датчика-распределителя с однолучевой токораздаточной пластиной. То есть ротор датчика-распределителя вращается в 10 раз медленнее коленчатого вала, а не в 2 раза, как в прототипе.

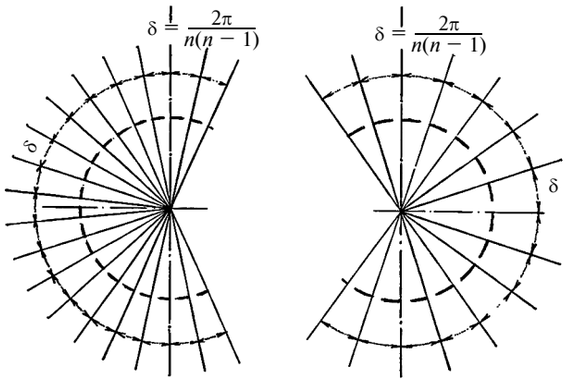



*Рис. 2. Схема формирования управляющих импульсов низкого напряжения для прямого (а) и обратного (б) искрообразования*

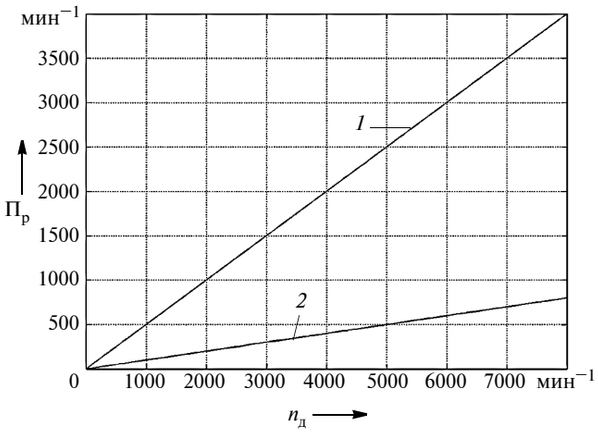



*Рис. 3. Эффект снижения частоты вращения ротора датчика-распределителя зажигания:*

*1* — классический распределитель; *2* — модернизированный распределитель

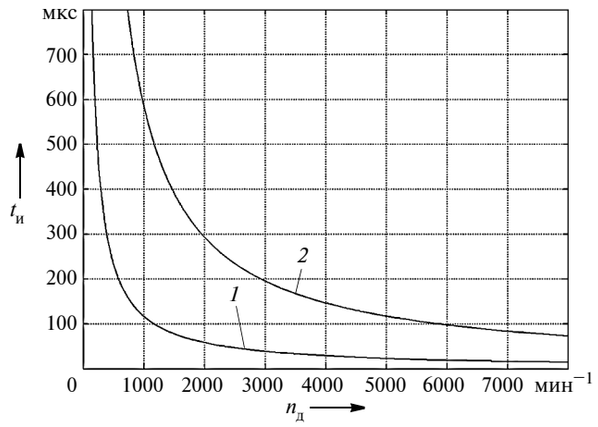



*Рис. 4. Эффект увеличения продолжительности искры датчика-распределителя зажигания:*

*1* — классический распределитель; *2* — модернизированный распределитель

Что касается рис. 4, то он говорит о том, что в 5 раз увеличивается и время замкнутого состояния токораздаточной пластины ротора с боковыми контактами крышки распределителя. Это повышает продолжительность существования искрового разряда на контактах свечей и, следовательно, надёжность процесса воспламенения топливовоздушной смеси. Естественно, в те же 5 раз уменьшается и джоулевое тепловыделение, что снижает температурный уход электрических характеристик и износ контактов многолучевой пластины. Устраняются проблемы механических вибраций, износа подшипниковых узлов ротора и его балансировки.

**Литература**

1. Соснин Д.А. Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей. М.: Солон-Пресс, 2010, 384 с.
2. Автомобили ВАЗ-2107. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. К.Б. Пятков, А.П. Игнатов, С.Н. Косарев и др. М., Издательство "За рулем", 2001.
3. Сысоева С. Актуальные классические принципы оптоэлектроники в автоэлектронике // Компоненты и технологии", 2006. № 5.

av0316.fm Page 19 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 629.115./113

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОБАЛЛОННОЙ ТЕХНИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

**А.Х. ВАСИДОВ**, канд. техн. наук **С.А. КАЛАУОВ**,
д-р техн. наук **Б.И. БАЗАРОВ**
ТАДИ (8987. 233-43-00)

*Рассматриваются вопросы, связанные с оценкой эксплуатационных показателей газобаллонных механических транспортных средств, двигатели которых работают на сжатом природном газе, в процессе приёмочных испытаний в условиях полигона.*

***Ключевые слова:*** *газобаллонное механическое транспортное средство, приёмочные испытания, полигонные испытания, нормативная документация, эксплуатационные показатели.*

**Vasidov A.H., Kalauov S.A., Bazarov B.I.**
**ASSESSMENT OF OPERATIONAL INDICATORS OF GAS CYLINDER MECHANICAL VEHICLES BY RESULTS OF POLYGON TESTS**

*The questions connected with an assessment of operational indicators of gas cylinder mechanical vehicles on the compressed natural gas in the course of acceptance tests in the conditions of the ground are considered.*

***Keywords:*** *gas cylinder mechanical vehicle, acceptance tests, polygon tests, standard documentation, operational indicators.*

Эксплуатационные показатели газобаллонных механических транспортных средств (МТС) во многом зависят от того, насколько точно завод-изготовитель выполняет требования, предъявляемые к разработке и постановке готовой продукции на производство. Причем это особенно важно при их переводе с дизельного топлива на сжатый природный или сжиженный нефтяной газы, поскольку производственно-технологическая основа такого перевода оказывается гораздо сложнее (следовательно, затратнее) тех процессов, которые имеют место при переводе МТС на двухтопливную ("газ—бензин") систему топливопитания. Поэтому приёмочные испытания таких МТС необходимо проводить на специальных полигонах: они позволяют получить все данные, в стандартных условиях выявить и устранить "шероховатости" всякого рода, т.е. довести их показатели до уровня, требуемого для постановки новой продукции, газобаллонно-дизельного МТС, на производство. Потому что полигон не только обладает широким набором различной нормативной и руководящей документации по переоборудованию, эксплуатации транспортных средств на СПГ/СНГ, работающих по двухтопливной системе питания ("газ—бензин"), но и, в отличие от подавляющего большинства организаций, которые занимаются переоборудованием колёсной и другой техники на питание СПГ/СНГ, не ограничивается лишь общими рекомендациями по эксплуатации, данными о конструкции и работе составляющих элементов, агрегатов газобаллонного оборудования, а даёт четко выверенную информацию, связанную с обеспечением безопасной эксплуатации, установлением реальных эксплуатационных расходов топлива, планированием эксплуатационных показателей колесной техники, работающей на СПГ/СНГ. Кроме того, такие организации, как правило, не в состоянии выполнить все необходимые этапы разработки, испытание опытных образцов, постановки на производство и периодические испытания новой продукции [1].

Для стандартного полигона — это рядовое событие. Например, он может провести высококачественные предварительные испытания опытного образца, в ходе которых определяется соответствие отдельных показателей техническому заданию или существующим стандартам [2, 3]. Организации же, занимающиеся переводом ДВС с жидкого топлива на СПГ/СНГ, выполняют работы такого рода, по сути, формально. Да, они выполняют, например, требования стандарта 1082:2011, которые гласят, что кроме грузоподъёмности (пассажировместимости) и массы МТС при переходе на альтернативное топливо нужно оценивать изменение значений его максимальной скорости ($v_{max}$), времени разгона ($t_a$) на участке протяженностью 1000 м и расхода $G_т$ топлива при постоянной скорости 60 км/ч для МТС категорий $M_2$, $M_3$ и N и 80 км/ч для категории $M_1$ на 100 км пути) по сравнению со значениями тех же показателей у непереоборудованных МТС. При этом у МТС категорий M и N с принудительной системой зажигания (бензиновых), переоборудованных на СПГ с инжекторной системой топливопитания, $v_{max}$ должна быть не менее 94 % исходной, $t_р$ — не более 115 %, а $G_{т60\ или\ 80/100\ км}$ — не более 110 %, а категорий M и N, оснащенных ДВС с воспламенением от сжатия (газовый двигатель с искровым зажиганием), $v_{max}$ в случае дизеля с турбонаддувом — не менее 110, а в случае дизеля без наддува — 100 %, $t_р$ — не более 110 и 105 %, $G_{т60\ или\ 80/100\ км}$ — не более 112 и 110 % соответственно. При работе же дизеля по газодизельной схеме питания $v_{max}$ в случае наличия наддува должна быть 92, а без наддува — 95 %, $t_р$ — не более 114 и 105 %, $G_{т60\ или\ 80/100\ км}$ — не более 112 и 110 % соответственно

Автопроизводители добиваются таких значений $v_{max}$, $t_р$ и $G_т$ на стандартных дорогах, поэтому говорить о качестве такой доводки можно лишь с известной мерой осторожности. Поэтому приёмочные испытания опытных образцов газобаллонной техники должны иметь межведомственный характер. Что и узаконено в Узбекистане: здесь они проводятся с обязательным участием представителей агентства "Узстандарт", ГУБДД МВД, ГУПБ МВД, ГИ "Саноатгеоконтехназорат", ТАДИ, ООО "Далварзинский ремонтный завод" и ООО КТБ "Автосозлаш". Кроме того, местом их проведения является Пскентский автополигон (бывший Южный научно-исследовательский полигон для ис-

| Показатель | Автомобиль | Топливо | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | базовое (бензин/ дизельное топливо) | сжатый природный газ | |
| Разгон до скорости 100 км/ч, с | «Спарк» | 22,12 | 24,80 | — |
| | «САЗ Исудзу NP37» | 67,43*<br>— | 70,23*<br>31,16 | Газодизельный вариант до скорости 80 км/ч; газовый вариант до скорости 60 км/ч |
| Максимальная скорость движения, км/ч | «Спарк» | 154,08 | 144,1 | — |
| | «САЗ Исудзу NP37» | 101,63*<br>90 | 96,47*<br>88,8 | — |
| Контрольный расход топлива при скорости 90 км/ч, *l*/100 км ($м^3$/100 км) | «Спарк» | 7,12 | 7,86 (6,549) | — |
| | «САЗ Исудзу NP37» | 19,41*<br>18 | (16,52 $м^3$ ПГ + 4,45 *l* ДТ)*<br>17,87 | Определяется при скорости 60 км/ч |
| * Для газодизельной системы питания | | | | |

пытания автомобильной и мотоциклетной техники — ЮЖНИАМП), имеющий цементобетонное дорожное покрытие протяжённостью 6,8 км и шириной проезжей части 14 м, три полосы движения — внутреннюю, позволяющую развивать скорость до 80 км/ч; среднюю — до 100...130 км/ч и внешнюю — до 160...220 км/ч. Есть на нём и динамометрический участок протяжённостью 2 км — прямолинейный, строго горизонтальный.

В процессе полигонных испытаний используется испытательное, контрольно-измерительное оборудование и приборы, необходимые для определения массовых (переносные автомобильные электронные весы мод. ВА-15 С-2) показателей МТС, его габаритных размеров, пройденного им и тормозного пути, времени преодоления, скорости замедления и ускорения (испытательный комплекс "Коррис Датрон"), влажности, температуры и скорости воздуха и др.

Результаты полигонных испытаний после их обработки выдаются в обобщенном виде, удобном для сравнения и составления заключения. Их пример даёт таблица, в которой приведены данные по двум МТС — легковому автомобилю "Спарк" с механической коробкой передач и автобуса "САЗ Исудзу NP37" с газодизельной (обозначена звёздочкой) и газовой системами питания. Из этой таблицы видно, что решение о переводе этих МТС с жидкого на газовое топливо себя оправдало: полученные в условиях полигона полностью соответствуют требованиям названного выше стандарта. Это означает, что такую технику можно ставить на производство.

**Литература**


1. ГОСТ 15.001—73. Разработка и постановка продукции на производство. Основные положения.
2. O'zDSt 35.110:2011 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения: I. Элементов специального оборудования механических транспортных средств двигатели которых работают на сжатом природном газе (СПГ). II. Транспортных средств в отношении установки элементов специального оборудования официального утвержденного типа для использования в их двигателях сжатого природного газа (СПГ).
3. O'zDSt 1082:2011 Переоборудование находящихся в эксплуатации автотранспортных средств для работы на сжатом природном газе. Общие технические условия и методы испытаний.


УДК 629. 114

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Кандидаты техн. наук **В.В. ГЕРАЩЕНКО**, **Н.А. КОВАЛЕНКО**, **В.П. ЛОБАХ** и **В.Н. АРТЕМЕНКО**
Белорусско-Российский университет (375022. 223-04-26)

*Разработано новое бортовое устройство для диагностирования тормозной системы автомобиля.*

***Ключевые слова:*** *устройство, автомобиль, тормозная система, диагностика, датчик частоты вращения, замедление.*

**Geraschenko V.V., Kovalenko N.A., Lobach V.P., Artemenko V.N.**

**THE DEVICE FOR THE ON-BORD DIAGNOSIS OF THE BRAKING SYSTEM OF A VEHICLE**

*It developed a new on-bord device for diagnosing a vehicle braking system.*

***Keywords:*** *device, vehicle, brake system, diagnosis, speed sensor, slowdown.*

Предлагаемое вниманию читателей устройство относится к числу не очень часто применяемых на практике устройств диагностирования тормозной системы автомобиля, т.е. устройств, которые повышают безопасность вождения и вероятность обнаружения неисправностей и этой ответственейшей из его систем ещё до перерастания её в отказ, а значит, снижении расходов на ремонт. Правда, информация о фактическом техническом состоянии тормозной системы выдается не при контрольных проверках, а непрерывно, в ходе движения, что обеспечивает водителю дополнительный психологический комфорт.

Но на мысль создания бортового устройства диагностирования навело авторов не только то, что перечислено выше. Постоянно имея дело с инерционными тормозными стендами, они давно обнаружили, что получаемые на них результаты отличаются большими погрешностями при определении такого диагностического параметра автомобиля, как замедление. А устранить этот

присущий инерционным стендам недостаток не удается, потому что на них невозможно воспроизвести реальные условия работы автомобиля. Уже хотя бы потому, что ведущие колеса автомобиля, установленного на стенд для диагностирования тормозной системы, вращаются по поверхности роликов, которая, естественно, отличается от опорной поверхности. Немаловажно было и то, что создание и эксплуатация стенда для диагностирования тормозной системы требуют больших затрат, тогда как создание и оборудование автомобиля устройством для бортового ее диагностирования эти затраты уменьшают в десятки раз.

Конечно, без такого устройства, в принципе, обойтись можно. Тем более что в настоящее время есть переносной прибор — десселерометр, с помощью которого замедление автомобиля при торможении можно измерить довольно точно. Но такое измерение — дело хлопотное: для этого нужно найти ровный горизонтальный участок дороги, разогнать автомобиль до скорости 10 км/ч и нажать на педаль с определённым усилием. Причём для повышения достоверности результатов заезды приходится повторять несколько раз. Но так как эта работа автомобиля, во-первых, осуществляется в условиях, отличающихся от работы на реальных дорогах и, во-вторых, связана с действиями водителя, т.е. усилием нажатия на педаль, то говорить о высокой точности получаемых результатов тоже не приходится.

Итогом учёта всех перечисленных выше обстоятельств и стала разработка бортового постоянно действующего устройства, схема которого приведена на рис. 1 (патент № 18937, РБ).

Эта схема содержит датчик *19* частоты вращения затормаживаемого колеса *1* автомобиля, состоящий из металлического диска *4* с прорезями и выступами, который установлен на валу *2* этого колеса; импульсного щелевого преобразователя *3*, размещённого вблизи диска *4* так, чтобы выступы диска свободно входили в щель преобразователя; первую дифференцирующую цепь *8*, образованную резисторами *5* и *7* и конденсатором *6*; выпрямитель *14*

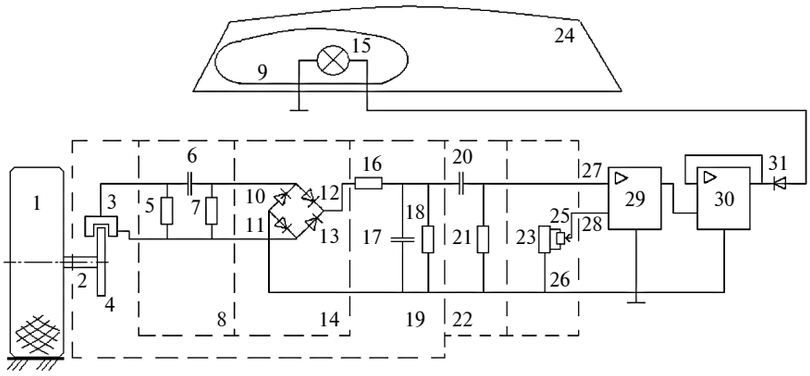



*Рис. 1. Схема устройства бортового диагностирования тормозной системы автомобиля*

на четырёх (*10*, *11*, *12*, *13*) импульсных диодах; интегрирующую цепь, выполненную на резисторе *16* и конденсаторе *17*; выходной резистор *18* датчика; регулируемый источник *26* постоянного тока с реостатом *23* и движком *25*; последовательно соединённые компаратор *29* с инвертирующим (*27*) и неинвертирующим (*28*) входами; повторитель *30* напряжения; диод *31*; электрическую лампу *15*, установленную на панели *9* приборов в кабине *24* автомобиля. При этом неинвертирующий вход *28* компаратора *29* соединён с выходом регулируемого источника *26* постоянного тока. Кроме того, в состав схемы входят вторая дифференцирующая цепь *22*, выполненная на резисторе *21* и конденсаторе *20*, и своим входом соединенная с выходом датчика *19* частоты вращения затормаживаемого колеса *1* автомобиля, а выходом — с инвертирующим входом *27* компаратора *29*.

Величина напряжения, подаваемого на неинвертирующий вход *28* компаратора, установлена равной нормативной величине замедления автомобиля, а постоянная времени второй дифференцирующей цепи *22* выбрана такой, что напряжение на выходе этой цепи при исправной тормозной системе было больше его нормативного значения, подаваемого на неинвертирующий вход *28* компаратора (при этом импульсный диод *31* включен в обратном направлении).

Работу рассматриваемого устройства иллюстрирует рис. 2.

При торможении автомобиля частота вращения его колеса снижается, что сразу же фиксирует датчиком *19* следующим образом. При вращении колеса выступы диска *4* проходят через щели преобразователя *3*, поэтому на резисторе 5 возникают прямоугольные импульсы напряжения. Они поступают в первую дифференцирующую цепь *8*. В результате чего на резисторе *7* возникают разнополярные экспоненциальные импульсы напряжения одинаковой формы и площади. При этом их число за один и тот же промежуток времени зависит от частоты вращения колеса: оно либо остается постоянным, если эта частота не изменяется, либо снижается, если вращение колеса замедляется, т.е. осуществляется режим торможения. С помощью обычного выпрямителя *14*, выполненного, как сказано выше, на четырёх импульсных диодах, эти импульсы выпрямляются, а с помощью интегрирующей цепи — сглаживаются. В итоге на выходном резисторе *18* формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения ко-

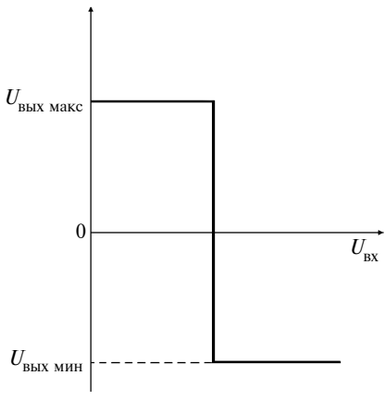



*Рис. 2. Характеристика компаратора*

леса. То есть при торможении автомобиля оно снижается (по экспоненциальному закону) и подается на вход второй дифференцирующей цепи *22*, на выходе которой появляется напряжение, пропорциональное производной от изменения частоты вращения колеса *1*. И именно в этом состоит "изюминка" идеи диагностирования в рассматриваемом бортовом устройстве: если тормозная система не имеет неисправностей, частота вращения падает быстрее (с меньшей постоянной времени), а если неисправности есть, то — с большей. При этом значение первой (нормативной) постоянной времени задается при настройке устройства с помощью регулируемого источника *26* путём соответствующего перемещения движка *25* реостата *23*. Сам же процесс диагностирования тормозной системы осуществляется следующим образом.

Если тормозная система автомобиля исправна, максимальное значение напряжения, подаваемое на инвертирующий вход *27* компаратора *29*, оказывается больше его нормативного значения на неинвертирующем входе *28* компаратора от источника *26* постоянного тока. Поэтому на выходе компаратора формируется отрицательное напряжение, которое через повторитель *30* и диод *31* поступает на сигнальную лампу *15*. Лампа загорается, т.е. сообщает водителю: тормозная система находится в хорошем техническом состоянии. Если же в системе появилась неисправность, максимальное значение напряжения, подаваемое на инвертирующий вход *27* компаратора, становится меньше нормального, формируется положительное напряжение, которое запирает диод *31*, и лампа гаснет, что и служит сигналом: эксплуатацию автомобиля необходимо прекратить и приступить к выявлению и устранению возникшей неисправности.

**Литература**


1. Техническая эксплуатация автомобилей. Под ред. Г.В. Крамаренко. — М.: Транспорт, 1983. — С. 146.
2. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. — М.: Транспорт, 1977.— С. 94.


УДК 621.436

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСЕВЫХ БИОТОПЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

Доктора техн. наук **В.А. МАРКОВ**, **С.Н. ДЕВЯНИН** и **С.А. НАГОРНОВ**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (8.917. 584-49-54),
МГАУ имени В.П. Горячкина, ВИИТиН (Тамбов)

*Рассмотрена возможность использования смесевых биотоплив в дизеле.*

***Ключевые слова:*** *дизель, дизельное топливо, соевое масло, смесевое биотопливо, оптимизация.*

**Markov V.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A.**

**OPTIMIZATION OF BIOFUEL MIXTURE COMPOSITION FOR DIESEL ENGINES**

*The possibility of using biofuel mixture as a fuel for diesel engine is considered.*

***Keywords:*** *diesel, diesel fuel, soybean oil, biofuel mixture, optimization.*

Альтернативные моторные топлива находят всё большее применение в транспортном и сельскохозяйственном производстве. Например, планируется, что в странах Западной и Центральной Европы к 2020 г. на эти топлива удастся перевести до четверти всего автомобильного парка. И одна из основных причин тому — ужесточающиеся требования к токсичности отработавших газов двигателей [1].

Альтернативных топлив известно много. В частности, для автотракторных дизелей рассматриваются топлива на основе растительных масел [2 и др.], что объясняется простотой и экологичностью процесса их получения, их сравнительно невысокой стоимостью и приемлемой воспламеняемостью в условиях камеры сгорания дизеля. Поэтому масличные культуры занимают все более значительное место в сельскохозяйственном производстве: если в 2000 г. мировой объём производства растительных масел составил 80 млн т в год, то в 2013 г. — уже 150 млн т, т.е. возрос почти вдвое. И в нашей стране наблюдается практически та же тенденция. Например, выработка только соевого масла в 2007 г. не превышала 50 тыс. т, а в 2012 г. она достигла 320 тыс. т. То есть за пять лет его производство увеличилось более чем в 6 раз.

По своим физико-химическим свойствам это масло близко не только к другим растительным маслам (плотность — 915 до 930 кг/м$^3$, кинематическая вязкость при 20 °С — 59...72 мм$^2$/с, температура застывания — от минус 15 до минус 18 °С), но и к нефтяным дизельным топливам, что позволяет использовать его в качестве моторного топлива без внесения существенных изменений в конструкцию дизеля. Причем как в чистом виде, так и в смеси с дизельным топливом. Кроме того, из соевого масла получают метиловый, этиловый или бутиловый эфиры, которые можно применять либо в качестве самостоятельных топлив для дизелей, а также гибридных двигателей с искровым зажиганием, либо в смесях с нефтяными топливами.

Такова картина в целом. Но если её конкретизировать применительно к нашей стране, то можно обнаружить некоторые нюансы. Скажем, если взять сельскую местность, а также регионы, где нет инфраструктуры для производства таких эфиров, то наиболее привлекательным вариантом моторного топлива для дизелей представляются смеси дизельного топлива и соевого масла. Уже хотя бы потому, что эти два компонента, во-первых, хорошо смешиваются в любых пропорциях, образуя стабильные смеси, и, во-вторых, как показали исследования зарубежных специалистов, смеси практически не ухудшают, а порой, даже улучшают, по сравнению с работой дизеля на чистом соевом масле, его характеристики. Потому что подбором их состава можно обеспечить им физико-химические свойства, очень близкие к свойствам нефтяных дизельных топлив.

Чтобы убедиться в том, что эти преимущества относятся и к дизелям отечественного производства, авторы провели экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) при его работе на сме-

сях, физико-химические свойства которых приведены в табл. 1.

Дизель (его параметры приведены ниже) исследовался на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла (Правила № 49 ЕЭК ООН) при "стандартных" для него установочном угле θ опережения впрыскивания топлива, равном 13° п.к.в. до ВМТ, и неизменном положении рейки ТНВД.

| | |
|---|---|
| Тип | Четырёхтактный рядный |
| Число цилиндров | 4 |
| Диаметр цилиндра, мм | 110 |
| Ход поршня, мм | 125 |
| Общий рабочий объём, л | 4,32 |
| Степень сжатия | 16,0 |
| Система турбонаддува | Турбокомпрессор ТКР-6 |
| Тип камеры сгорания | Типа ЦНИДИ |
| Смесеобразование | Объёмно-плёночное |
| Номинальная частота вращения, $мин^{-1}$ | 2400 |
| Номинальная мощность, кВт | 80 |
| Система питания | Разделённого типа |
| Топливный насос высокого давления | Рядный, *PP4M10U1f*, с всережимным центробежным регулятором |
| Диаметр плунжеров ТНВД, мм | 10 |
| Ход плунжеров ТНВД, мм | 10 |
| Длина нагнетательных топливопроводов, мм | 540 |
| Форсунки | Типа ФДМ-22 |
| Распылители форсунок | Типа *DOP 119S534* с пятью сопловыми отверстиями диаметром 0,34 мм и проходным сечением 0,250 $мм^2$ |
| Давление начала впрыскивания форсунок, МПа | 21,5 |

Процесс исследования состоял из нескольких этапов. На первом из них дизель сначала работал на чистом дизельном топливе, а затем на рекомендованной зарубежными исследователями смеси, состоящей из 80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла. Причём в обоих случаях — на режимах внешней скоростной характеристики. Это смесевое биотопливо имеет физические свойства, близкие к свойствам нефтяного дизельного топлива, но его плотность и вязкость несколько выше. Поэтому при переходе от дизельного топлива к смесевому биотопливу происходит, как и следовало ожидать, небольшое увеличение часового расхода $G_т$ топлива и некоторое уменьшение коэффициента α избытка воздуха. Однако эффективная мощность $N_e$ крутящий момент $M_e$ дизеля изменились незначительно (рис. 1). Но, как известно, в молекулах соевого масла есть атомы кислорода, теплотворная способность смесевого биотоплива получилась ниже теплотворной способности дизельного топлива. В связи с чем на большинстве исследованных режимов внешней скоростной характеристики удельный эффективный расход $g_e$ топлива оказался чуть выше. Так, на режиме максимальной мощности ($n$ = 2400 $мин^{-1}$) он увеличился с 248,4 до 253,0 г/(кВт · ч), т.е. на ~2%, а на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 $мин^{-1}$) — с 226,2 до 232,2 г/(кВт · ч), т.е. на ~2,7 %. Однако эффективный КПД дизеля не уменьшился, а на режиме максимальной мощности при $n$ = 2400 $мин^{-1}$ даже несколько возрос.

Атомы кислорода в соевом масле обеспечили также заметное уменьшение дымности отработавших газов. Так, на режиме максимальной мощности ($n$ = = 2400 $мин^{-1}$) перевода работы дизеля с чистого дизельного топлива на рассматриваемую смесь значения $K_X$ снизились вдвое — с 16 до 8 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 $мин^{-1}$) — даже чуть больше с 43 до 27 %.

Таблица 1

| Свойство | Топливо | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | дизельное | соевое масло | смесь 91 % дизельного топлива и 9 % соевого масла | смесь 87 % дизельного топлива и 13 % соевого масла | смесь 80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла |
| Плотность при 20 °С, $кг/м^3$ | 830 | 923 | 838,4 | 842,1 | 848,6 |
| Вязкость кинематическая при 20 °С, $мм^2/с$ | 3,8 | 65,0 | 5,0 | 6,0 | 8,0 |
| Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м | 27,1 | 33,0 | Не определялся | | |
| Низшая теплота сгорания, кДж/кг | 42500 | 37300 | 42030 | 41820 | 41460 |
| Цетановое число | 45 | 38 | Не определялось | | |
| Температура самовоспламенения, °С | 250 | 310 | Не определялась | | |
| Температура помутнения, °С | −25 | −10 | То же | | |
| Температура застывания, °С | −35 | −18 | − » − | | |
| Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг | 14,16 | 12,38 | 14,13 | 14,04 | 13,93 |
| Содержание по массе, %: | | | | | |
| углерода | 87,0 | 77,5 | 86,1 | 85,8 | 85,1 |
| водорода | 12,6 | 11,5 | 12,5 | 12,4 | 12,4 |
| кислорода | 0,4 | 11,0 | 1,4 | 1,8 | 2,5 |
| серы | 0,20 | 0,005 | 0,182 | 0,175 | 0,161 |

av0316.fm Page 24 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

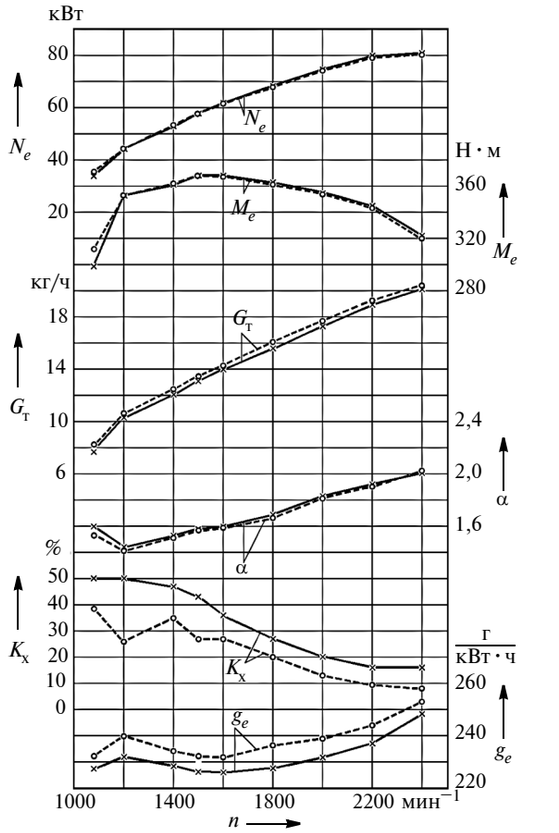



*Рис. 1. Зависимость эффективной мощности, крутящего момента часового расхода топлива, коэффициента избытка воздуха, дымности отработавших газов и удельного расхода топлива дизеля Д-245.12С при его работе на чистом дизельном топливе (сплошные линии) и смеси "80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла" (штриховые линии) от частоты вращения коленчатого вала*

Результаты экспериментальных исследований Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла представлены на рис. 2. Они по сути те же. Использование рассматриваемого смесевого биотоплива привело к незначительному увеличению часового расхода $G_т$ топлива: на режиме максимальной мощности ($n$ = 2400 мин$^{-1}$) — с 19,84 до 20,15 кг/ч, т.е. на ~1,6 %, а на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 мин$^{-1}$) — с 13,20 до 13,47 кг/ч, т.е. ~2 %.

Использование смеси заметно снизило концентрацию $C_{NOx}$ в отработавших газах: на режиме холостого хода ($n$ = 880 мин$^{-1}$) — с 0,010 до 0,008 %, на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 мин$^{-1}$) — с 0,070 до 0,059 %, на режиме максимальной мощности ($n$ = 2400 мин$^{-1}$) — с 0,0605 до 0,0515 %. На большинстве режимов снизилось также и содержание монооксида углерода в отработавших газах. Например, на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 мин$^{-1}$) — с 0,033 до 0,024 %, а на режиме максимальной мощности ($n$ = 2400 мин$^{-1}$) — с 0,0102 до 0,0090 %. Однако на режиме холостого хода ($n$ = 880 мин$^{-1}$) его концентрация, наоборот, возросла с 0,024 до 0,026 %.

Работа на смеси благоприятно сказывается и на концентрации несгоревших углеводородов $C_{CHx}$, Причём наиболее заметно — на режимах со средними и большими нагрузками. Так, на режиме максимального крутящего момента ($n$ = 1500 мин$^{-1}$) она уменьшилась с 0,017 до 0,013 %, а на режиме максимальной мощности ($n$ = 2400 мин$^{-1}$) — с 0,0108 до 0,0090 %. И лишь на режиме холостого хода ($n$ = 880 мин$^{-1}$) и на режимах с малыми нагрузками содержание несгоревших углеводородов в отработавших газах при переходе с чистого дизельного топлива на смесь оказалось примерно одинаковым.

Таблица 2

| Показатель | Топливо | | | |
|---|---|---|---|---|
| | дизельное | смесь 91 % дизельного топлива и 9 % соевого масла | смесь 87 % дизельного топлива и 13 % соевого масла | смесь 80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла |
| Часовой расход топлива $G_т$, кг/ч: | | | | |
| на режиме максимальной мощности | 20,10 | 20,40 | 20,19 | 20,39 |
| на режиме максимального крутящего момента | 13,10 | 13,01 | 13,09 | 13,47 |
| Крутящий момент дизеля $M_e$, Н · м, на режиме: | | | | |
| максимальной мощности | 322 | 320 | 318 | 320 |
| максимального крутящего момента | 368 | 361 | 362 | 368 |
| Удельный эффективный расход топлива $g_e$, г/(кВт · ч), на режиме: | | | | |
| максимальной мощности | 248,4 | 253,6 | 253,1 | 253,0 |
| максимального крутящего момента | 226,2 | 229,1 | 230,9 | 232,2 |
| Эффективный КПД на режиме: | | | | |
| максимальной мощности | 0,341 | 0,338 | 0,340 | 0,343 |
| максимального крутящего момента | 0,374 | 0,374 | 0,373 | 0,374 |
| Дымность отработавших газов, $K_x$, на режиме: | | | | |
| максимальной мощности | 16 | 10 | 9 | 8 |
| максимального крутящего момента | 43 | 31 | 28 | 27 |
| Интегральные значения показателей на режимах 13-ступенчатого цикла: | | | | |
| эффективный удельный расход топлива, г/(кВт · ч) | 247,97 | 251,42 | 252,30 | 255,15 |
| эффективный КПД | 0,342 | 0,341 | 0,341 | 0,340 |
| Интегральные удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами, г/(кВт · ч): | | | | |
| оксиды азота | 7,018 | 5,896 | 5,815 | 5,683 |
| монооксиды углерода | 1,723 | 1,548 | 1,492 | 1,535 |
| несгоревшие углеводороды | 0,788 | 0,762 | 0,730 | 0,715 |

av0316.fm Page 25 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

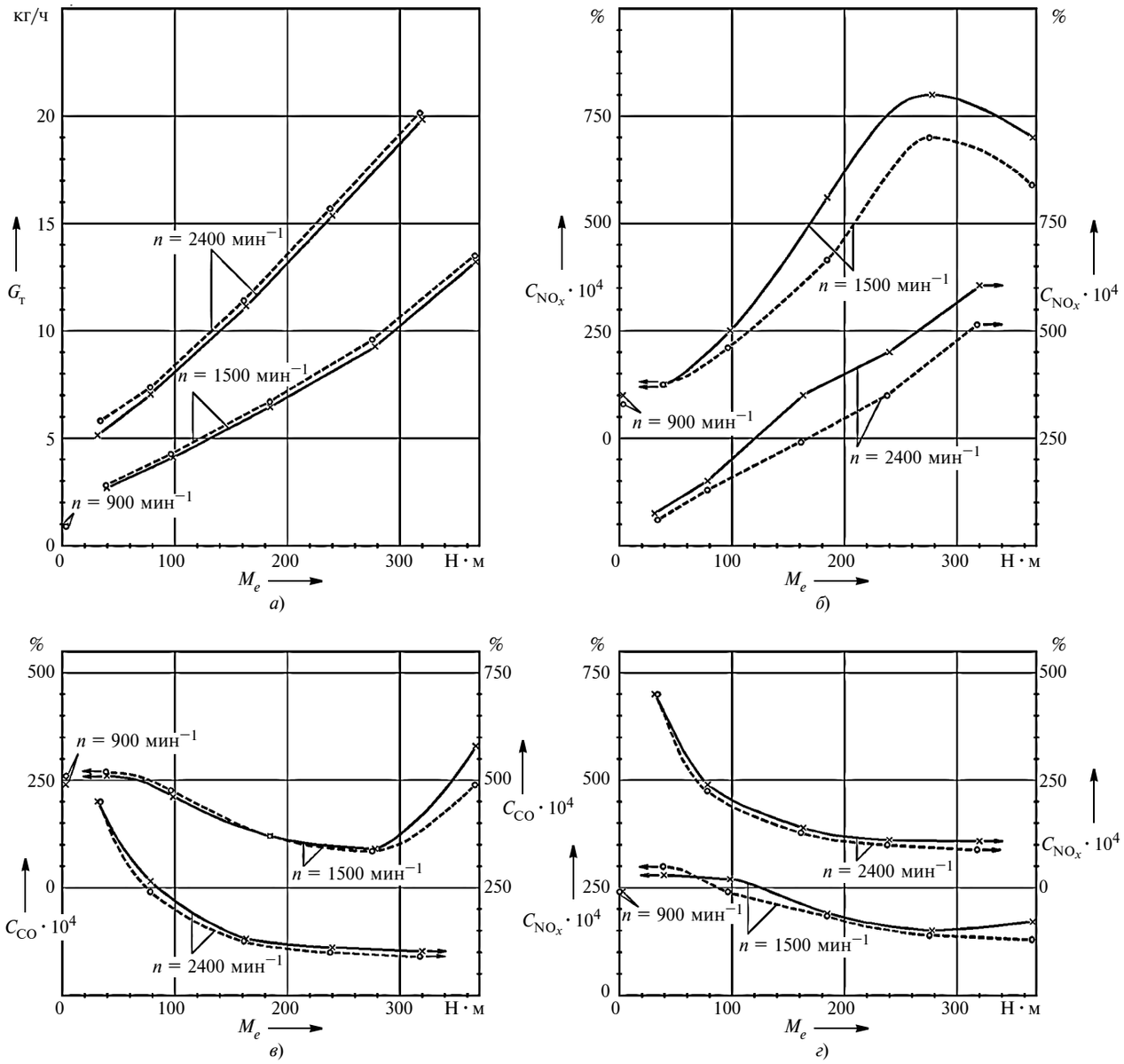



*Рис. 2. Зависимость расхода топлива (а), объёмных концентраций оксилов азота (б), монооксида углерода (в) и несгоревших углеводородов (г) в отработавших газах дизеля Д-245.12С от частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента при его работе на чистом дизельном топливе (сплошные линии) и на смеси "80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла" (штриховые линии)*

Аналогичные эксперименты были проведены и на смесях 91 % дизельного топлива и 9 % соевого масла и 87 % дизельного топлива и 13 % соевого масла. Их результаты приведены в табл. 2.

Используя данные рис. 2 и первой части этой таблицы, авторы рассчитали интегральные удельные массовые выбросы всех нормируемых вредных веществ на режимах 13-ступенчатого цикла (т.е. $e_{NOx}$, $e_{CO}$, $e_{CHx}$), которые приведены в нижней части табл. 2. Кроме того, авторы оценили эксплуатационный расход топлива на режимах 13-ступенчатого цикла по среднему (условному) удельному эффективному его расходу $g_{e\ усл}$ топлива, который определяли по формуле № 1 (табл. 3). Поскольку исследованные смесевые биотоплива имеют, как сказано выше, меньшую, чем дизельное топливо, теплотворную способность, то топливная экономичность дизеля при его работе на этих топливах оценивалась не только по $g_e$, но и эффективным КПД дизеля. Причём для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла был использован условный эффективный КПД, определяемый по формуле № 2.

Если теперь проанализировать данные табл. 2, то становится очевидным: перевод дизеля Д-245.12С на смесь "80 % дизельного топлива + 20 % соевого масла" существенно улучшил его экологические характеристики. Так, на режимах максимальных мощности и крутящего момента при подаче в дымность $K_х$ отрабо-

тавших газов снизилась, по сравнению с работой на нефтяном дизельном топливе, на 37...50 %, выброс $e_{CO}$ монооксида углерода — с 1,723 до 1,535 г/(кВт · ч), т.е. на 10,9 %, выброс $e_{CHx}$ несгоревших углеводородов — с 0,788 до 0,715 г/(кВт · ч), или на 9,3 %, выброс $e_{NOx}$ оксидов азота — с 7,018 до 5,683 г/(кВт · ч), или на 19,0 %. При этом условный эффективный КПД изменился мало — он уменьшился от 0,342 до 0,340, что соизмеримо с точностью его определения.

При меньшем содержании соевого масла в смеси удельный эффективный расход топлива, как видно из табл. 2, возрастает в меньшей степени, чем в случае смеси "80 % дизельного топлива + 20 % соевого масла": ведь это обусловлено теплотворной способностью топлива (рис. 3). Однако эффективный КПД дизеля во всех случаях изменяется очень незначительно.

То же самое можно сказать и о значениях удельных массовых выбросов токсичных компонентов отработавших газов: при уменьшении доли соевого масла они монотонно возрастают, подтверждая тем самым их зависимость от концентрации $C_{ПМ}$ соевого масла. Лишь в диапазоне изменения $C_{ПМ}$ с 13 до 20 % отмечено небольшое увеличение удельного массового выброса монооксида $C_{CO}$ углерода — с 1,492 до 1,535 г/(кВт · ч) — на 2,8 %.

Все приведённые данные получены без изменения конструктивных и регулировочных параметров дизеля и в довольно узком диапазоне изменения состава биотоплива. Но логика подсказывает: ещё большее снижение выбросов токсичных компонентов в отработавших газах и улучшение показателей топливной экономичности дизеля могут быть получены, если найти оптимальные варианты как совершенствования конструкции, так и подбора состава смесей. Например, можно попытаться изменить конструкцию проточной части распылителей форсунок с целью уменьшения длины струй топлива и их согласования с формой камеры сгорания, уточнить регулировочные параметры дизеля (в первую очередь — значений угла опережения впрыскивания топлива). Ещё больше надежд авторы возлагали на оптимизацию состава этих смесей. Дело в том, что работа дизеля характеризуется очень большим комплексом показателей (критериев) топливной экономичности и токсичности отработавших газов.

Таблица 3

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 1 | $g_{e\text{усл}} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{13} G_{\text{т}i}K_i}{\sum\limits_{i=1}^{13} N_{ei}K_i}$ | $i$ — номер режима; $G_{\text{т}\,i}$ — часовой расход топлива на $i$-м режиме; $N_{ei}$ — эффективная мощность двигателя на $i$-м режиме; $K_i$ — коэффициент «весомости» режима (доля времени работы) $i$-го режима |
| 2 | $\eta_{e\text{усл}} = \dfrac{3600}{H_U g_{e\text{усл}}}$ | $H_U$ — низшая теплотворная способность топлива |
| 3 | $J_{\text{о}} = a_{\eta_e}J_{\eta_e} + a_{NO_x} + a_{CO}J_{CO} + a_{CH_x}J_{CH_x}$ | $J_{NOx\,N\max}$, $J_{NOx\,M\max}$, $J_{Kx\,N\max}$, $J_{NOx\,M\max}$ — частные критерии оптимальности; $a_{\text{з}e}$, $a_{NOx}$, $a_{CO}$, $a_{CHx}$ — весовые коэффициенты частных критериев оптимальности |
| 4 | $J_{\eta_e} = \dfrac{\eta_{e\text{дт}}}{\eta_{ei}}$; $J_{NO_x} = \dfrac{e_{NO_x i}}{e_{NO_x\text{дт}}}$; $J_{CO} = \dfrac{e_{CO}}{e_{CO_{\text{дт}}}}$; $J_{CH_x} = \dfrac{e_{CH_x i}}{e_{CH_x\text{дт}}}$ | $\eta_{e\,i}$, $e_{NOx\,i}$, $e_{CO\,i}$, $e_{CHx\,i}$ — параметры дизеля, работающего на смесевом топливе; $\eta_{e\,\text{дт}}$, $e_{NOx\,\text{дт}}$, $e_{CO\,\text{дт}}$, $e_{CHx\,\text{дт}}$ — то же при работе на дизельном топливе |
| 5 | $e_{NO_x} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{13} E_{NO_x i}K_i}{\sum\limits_{i=1}^{13} N_{ei}K_i}$; $e_{CO} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{13} E_{CO\,i}K_i}{\sum\limits_{i=1}^{13} N_{ei}K_i}$; $e_{CH_x} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{13} E_{CH_x i}K_i}{\sum\limits_{i=1}^{13} N_{ei}K_i}$; $e_{\text{ТЧ}} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{13} E_{\text{ТЧ}\,i}K_i}{\sum\limits_{i=1}^{13} N_{ei}K_i}$ | — |
| 6 | $J_{\text{о}} = J_{NO_x} + J_{K_X}$ | — |
| 7 | $J_{\text{о}} = J_{NO_x N_{\max}} + J_{NO_x M_{\max}} + J_{K_X N_{\max}} + J_{K_X M_{\max}}$ | — |
| 8 | $J_{NO_x N\max} = \dfrac{C_{NO_x N_{\max} i}}{C_{NO_x N_{\max}\text{дт}}}$; $J_{NO_x M_{\max}} = \dfrac{C_{NO_x M_{\max} i}}{C_{NO_x M_{\max}\text{дт}}}$; $J_{K_X N\max} = \dfrac{K_{X N_{\max} i}}{C_{X N_{\max}\text{дт}}}$; $J_{K_X M_{\max}} = \dfrac{K_{X M_{\max} i}}{K_{X M_{\max}\text{дт}}}$ | — |
| 9 | $\bar{J}_{\text{о}} = \dfrac{K_{\text{о}i}}{J_{\text{одт}}}$ | — |

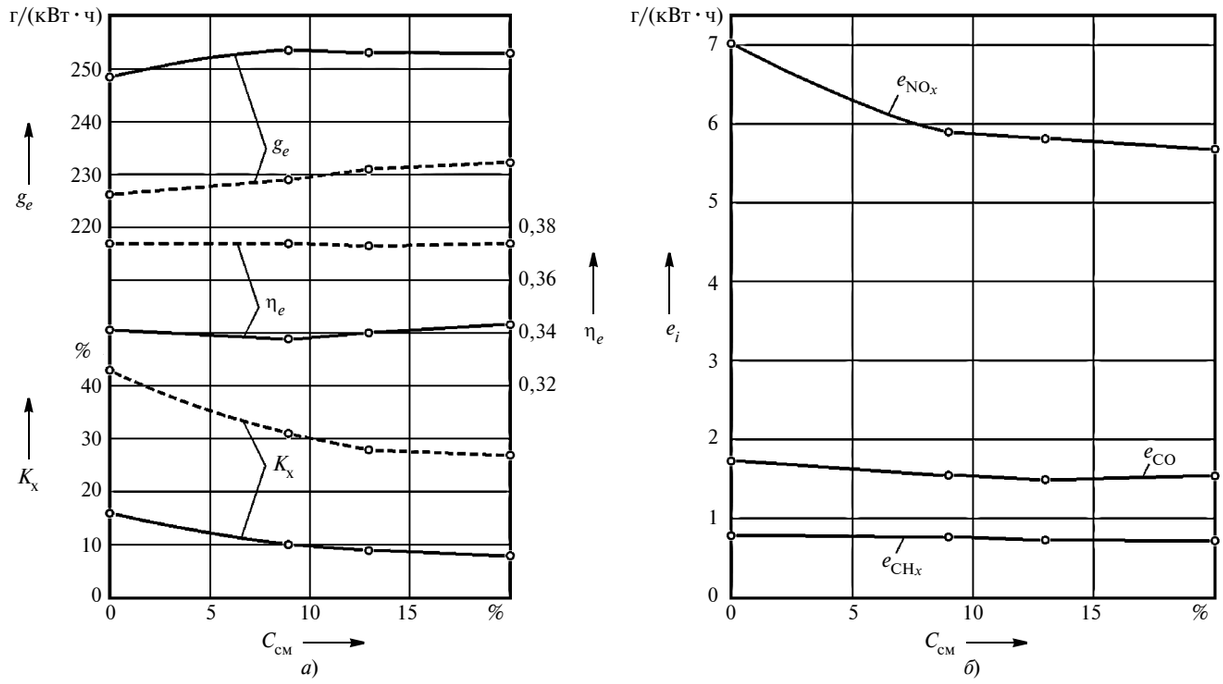



*Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива, эффективного КПД, дымности отработавших газов на режимах внешней скоростной характеристики (а) и на режимах 13-ступенчатого цикла (60 от содержания соевого масла при работе дизеля Д-245.12С на чистом дизельном топливе (сплошные линии) и смеси "80 % дизельного топлива и 20 % соевого масла" (штриховые линии)*

Причём требования к выбору оптимального состава топлива по данным критериям часто противоречат друг другу, т.е. задача выбора оптимального состава топлива становится сложной для решения многокритериальной оптимизационной задачи. Однако методики решения таких задач есть. Правда, их довольно много, и не все они совершенны. Тем не менее, известны и такие, которыми охотно пользуются многие исследователи. Типичный тому пример — методики оптимизации иерархической последовательности частных критериев, дающие решения, основанные на том или ином виде компромисса и определении множества неулучшаемых точек. Разработаны и методики многокритериальной оптимизации различных параметров ДВС [3—5 и др.]. Но применительно к задаче оптимизации состава смесевых топлив лучше всего использовать методики, приведенные в работе [6]: они основаны на одном из наиболее эффективных методов оптимизации — методе свёртки, при котором обобщенный критерий оптимальности формируется в виде суммы частных критериев. В частности, неплохой результат даёт предложенная авторами ранее методика оптимизации состава смесевого биотоплива, состоящего из дизельного топлива и рапсового масла, построенная на составлении обобщённого аддитивного критерия оптимальности в виде суммы частных критериев (формула № 3). При этом входящие в неё частные критерии оптимальности на каждом $i$-м режиме определяются по формуле № 4. Полученный таким образом обобщённый критерий $J_o$ оптимальности минимизируется.

Однако при использовании этой методики возникает довольно сложная проблема выбора значений "весовых" коэффициентов частных критериев оптимальности. Она, к сожалению, не имеет однозначного решения.

Еще один её недостаток заключается в том, что она не учитывает такой важный показатель работы дизеля, как дымность отработавших газов. Наконец, следует также отметить и трудоёмкость использования этой методики, обусловленную необходимостью расчётов сразу четырёх частных критериев и их суммы — обобщенного критерия. Причём каждый из частных критериев формулы № 3 вычисляется суммированием данных по соответствующим показателям на режимах 13-ступенчатого цикла: при оценке интегральной токсичности отработавших газов на каждом режиме цикла определяются концентрации $C_i$ нормируемых токсичных компонентов и рассчитываются их часовые массовые выбросы $e_i$ и полученные таким образом их значения суммируются за весь цикл по каждому компоненту (с учётом "весовых" коэффициентов $K_i$, отражающих долю времени каждого режима), а затем делятся на условную среднюю мощность $\Sigma(N_{ei} \cdot K_i)$ дизеля за испытательный цикл. То есть по формуле № 5. В результате получают удельные выбросы вредных веществ. Значит, для определения каждого из частных критериев по этим формулам необходимо найти значения соответствующих показателей дизеля ($N_{ei}$, $C_{NOx}$, $C_{CO}$, $C_{CHx}$, $C_{ТЧ}$, $E_{NOx}$, $E_{CO}$, $E_{CHx}$, $E_{ТЧ}$, $e_{NOx}$, $e_{CO}$, $e_{CHx}$, $e_{ТЧ}$) на 13 режимах его работы.

Чтобы устранить перечисленные выше недостатки этой методики, авторы предлагают, во-первых, сократить число частных критериев оптимальности, входящих в формулу № 3, поскольку эффективный КПД дизеля очень слабо зависит от состава смесей дизельного топлива и соевого масла. Кроме того, нормы на выбросы вредных веществ с отработавшими газами дизелей поэтапно ужесточаются, и этот показатель становится приоритетным. Значит, при оптимизации состава смесевых биотоплив частный критерий, характеризующий топливную экономичность дизеля, можно тоже не учитывать. Во-вторых, известно, что из токсичных компонентов наиболее значимыми являются оксиды азота: их доля в суммарных токсичных выбросах дизелей составляет от 30 до 80 % по массе и от 60 до 95 % по эквивалентной токсичности. Следовательно, его нужно оставить. Второй важнейший токсичный компонент — твёрдые частицы (сажа, дым). Так что его тоже не обойдешь.

Но монооксид углерода и несгоревшие углеводороды имеют значительно меньшую токсикологическую значимость: если сравнить CO, $NO_x$, $CH_x$, твёрдых частиц и оксидов серы, то данный параметр для них соотносится как 1:41,1:3,16:200:22. Поэтому отказ от их учёта — беда небольшая. В итоге при формировании обобщённого критерия оптимальности можно ограничиться учётом всего лишь двух основных частных критерия — эмиссии оксидов азота и твёрдых частиц. Более того, поскольку определение концентрации $C_{тч}$ твёрдых частиц является достаточно сложной и трудоемкой задачей, то вместо них лучше ориентироваться на дымность (сажу), которая, как известно, на режимах работы дизеля с полной нагрузкой (режимы внешней скоростной характеристики с низкими значениями коэффициента избытка воздуха) составляет большую (до 95...98 %) часть массы твёрдых частиц. В связи с этим в доработанной методике остаются только два частных критерия оптимизации — оксиды азота и сажа (дымность).

И ещё одно обстоятельство, заслуживающее внимания. При испытаниях дизелей с целью определения показателей токсичности их отработавших газов применяют самые различные испытательные циклы. Например, в Европе дизели автомобилей грузоподъёмностью более 3,5 т, как правило, испытываются в стендовых условиях на установившихся режимах, составляющих 13-ступенчатый цикл. Дело в том, что в этом цикле доля номинального режима составляет 10 % общего времени работы дизеля, а доля режима максимального крутящего момента — 25 %. Поэтому и от этого цикла в целом можно отказаться.

В соответствии же с ГОСТ 17.2.2.01—84 — "Дымность отработавших газов дизелей" и Правилами *R* 24-02 ЕЭК ООН дымность отработавших газов нужно определять только на режимах внешней скоростной характеристики, в первую очередь — на режимах максимальной мощности (номинальный режим) и максимального крутящего момента. То есть 13-ступенчатый цикл вообще выпадает. Предложение же авторов в какой-то мере восполняет этот пробел: задачу оптимизации состава смесевого биотоплива для исследуемого дизеля предлагается решать методом свертки. При его использовании частные критерии оптимальности сводятся к обобщенному критерию $J_o$, определяемому в виде суммы основных частных критериев, характеризующих концентрацию оксидов азота ($J_{NOx}$) в отработавших газах и их дымность по шкале Хартриджа ($J_{Kx}$), т.е. к использованию формулы № 6. Причём делать это нужно для двух основных режимов — максимальной мощности ($N_{max}$) и максимального крутящего момента ($M_{max}$). Тогда формула № 6 принимает вид формулы № 7.

И второе. Поскольку в доработанной методике в качестве частных критериев оптимальности использованы концентрация $C_{NOx}$ оксидов азота в отработавших газах и их дымность $K_X$ по шкале Хартриджа, имеющие различную размерность, то целесообразно брать не абсолютные, а относительные их величины, т.е. в виде дроби, числитель которой — значение показателя при работе на смесевом топливе, а знаменатель — на дизельном (формула № 8). И обобщённый критерий оптимальности тоже удобно использовать в относительном виде (формула № 9).

Таким образом, разработанная авторами методика предполагает формирование обобщённого аддитивного критерия оптимальности в виде формул № 7 или № 9. Минимум этого критерия (целевой функции), очевидно, соответствует оптимальному составу смесевого биотоплива. От базовой она, как видим, отличается, во-первых, тем, что учитывает лишь два частных критерия, концентрацию оксидов азота в отработавших газах и их дымность $J_{Kx}$ по шкале Хартриджа на двух режимах — максимальной мощности и максимального крутящего момента. Во-вторых, она не предполагает ранжирования (определения значимости) этих частных критериев оптимальности путем задания соответствующих "весовых" коэффициентов, как это принято в формуле № 3. В-третьих, она связана с гораздо меньшим, чем в случае базовой методикой, объёмом вычислений. Результаты её применения в ходе выполненных авторами экспериментов на базе дизеля Д-245.12 приведены в табл. 4. Они подтверждают сказанное выше: для рассматриваемого дизеля оптимальное содержание соевого масла в смеси с нефтяным дизельным топливом равно 20 %: при таком её составе достигается минимум обобщённого критерия оптимальности $\bar{J}_o$ = 0,706, а также минимальные выброс оксидов азота на режимах 13-ступенчатого цикла [$e_{NOx}$ = 5,683 г/(кВт · ч)] и дымность отработавших газов ($K_X$ = 8 и 27 %) по шкале Хартриджа соответственно на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента (см. табл. 2). Причем по мере увеличения доли масла в смеси от нуля до 20 % обобщённый критерий $\bar{J}_o$ оптимальности монотонно уменьшается, но скорость этого уменьшения тем больше, тем меньше доля масла в смеси. Это свидетельствует о том, что даже небольшая добавка соевого масла

Таблица 4

| Топлива | Показатели дизеля | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_{NO_xN_{max}}$, млн$^{-1}$ | $J_{NO_xN_{max}}$ | $C_{NO_xM_{max}}$, млн$^{-1}$ | $J_{NO_xM_{max}}$ | $K_{XN_{max}}$, % | $J_{K_XN_{max}}$ | $K_{XM_{max}}$, % | $J_{K_XM_{max}}$ | $J_o$ | $\bar{J}_o$ |
| Дизельное | 605 | 1,000 | 700 | 1,000 | 16,0 | 1,000 | 43,0 | 1,000 | 4,000 | 1,000 |
| 91 % дизельного топлива + 9 % соевого масла | 590 | 0,975 | 690 | 0,986 | 10,0 | 0,625 | 31,0 | 0,721 | 3,307 | 0,827 |
| 87 % дизельного топлива +13 % соевого масла | 575 | 0,950 | 665 | 0,950 | 9,0 | 0,563 | 28,0 | 0,651 | 3,114 | 0,779 |
| 80 % дизельного топлива +20 % соевого масла | 515 | 0,851 | 590 | 0,843 | 8,0 | 0,500 | 27,0 | 0,628 | 2,822 | 0,706 |

в нефтяное дизельное топливо значительно улучшает показатели токсичности отработавших газов.

Таким образом, предлагаемая авторами методика достаточно проста и с точки зрения точности получаемых результатов вполне приемлема для практического применения.

**Литература**


1. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. 256 с.
2. Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. 311 с.
3. Гусаков С.В., Патрахальцев Н.Н. Выбор программы регулирования угла опережения впрыска, оптимизированной по экономичности и токсичности отработавших газов / Исследование двигателей и машин: Сборник. М.: Изд-во Университета дружбы народов им. П. Лумумбы, 1980. С. 18...21.
4. Кузнецов А.Г. Анализ критериев экономичности и токсичности работы транспортных двигателей // Двигателестроение. 1996. № 2. С. 67...68.
5. Фомин В.М., Атраш Р. Совершенствование показателей работы тракторного дизеля на смесевом биодизельном топливе // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 5. С. 5...10.
6. Определение оптимального состава смесевых биотоплив / В.А. Марков, В.В. Маркова, В.М. Сивачев и др. // Автомобильная промышленность. 2015. № 2. С. 5...9.


УДК 62-233.3/.9

# ОБ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОСА РАБОЧЕГО ЭЛЕМЕНТА ТОЛКАТЕЛЯ КЛАПАНА

**И.А. ШВЕЁВ**

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета (8552. 39-71-40)

*Приводятся результаты исследования износостойкости рабочей поверхности толкателя клапана ДВС.*

***Ключевые слова:*** *газораспределительный механизм, толкатель клапана, износ.*

**Shveyov I.A.**

**ABOUT OF WEARPROOFNESS SURFACE OF THE WORKING ELEMENT CAM FOLLOWER**

*Results over of research of wearproofness of working surface of valve-lifter are brought.*

***Keywords:*** *gas distribution mechanism, the cam follower, wear.*

Закон движения клапанов ДВС задают кулачки его распределительного вала, которые воздействуют на эти клапаны либо непосредственно, либо через штангу. Чтобы функции клапана сохранялись как можно дольше, т.е. чтобы износ толкателя по его приёмной поверхности был наименьшим и равномерным, на эту поверхность наносят слой износостойкого материала. В частности, на поверхности клапанов дизеля КамАЗ-740, исследованием которого занимался автор предлагаемой читателям статьи, — это слой отбелённого чугуна твёрдостью не менее 61 HRC. Кроме того, ось идеально функционирующего толкателя должна пересекаться с осью вращения кулачка, а плоский элемент, контактирующий с профилем кулачка, — быть строго перпендикулярным к ней [1]. Выполнение перечисленных требований гарантирует постоянство теплового зазора в размерной цепи "кулачок—штанга—толкатель", а следовательно, высокое качество функционирования газораспределительного механизма дизеля.

Так должно быть. Но на практике такого идеального варианта нет. Уже хотя бы потому, что взаимодействующие поверхности кулачка распределительного вала и толкателя клапана не могут не подвергаться изнашиванию. Более того, контактная поверхность даже нового клапана не бывает абсолютно плоской, а поверхность кулачка — абсолютно круглой, поскольку всегда есть допуски на точность их изготовления. Это хорошо видно из рис. 1, на котором приведены положения приёмных элементов (толкатели клапанов) относительно передающих элементов (штанги) размерной цепи ГРМ рассматриваемого дизеля: линейный размер $L_л$ в цепях при одном и том же пробеге толкателей распределяется крайне неравномерно (кривая *1*) и может даже выходить за пределы допуска на износ.

av0316.fm Page 30 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

*Рис. 1. Изменение минимальных линейного (1) и кругового (2) размеров размерной цепи "толкатель клапана—кулачок распределительного вала" в зависимости от номера клапана дизеля КамАЗ-740*

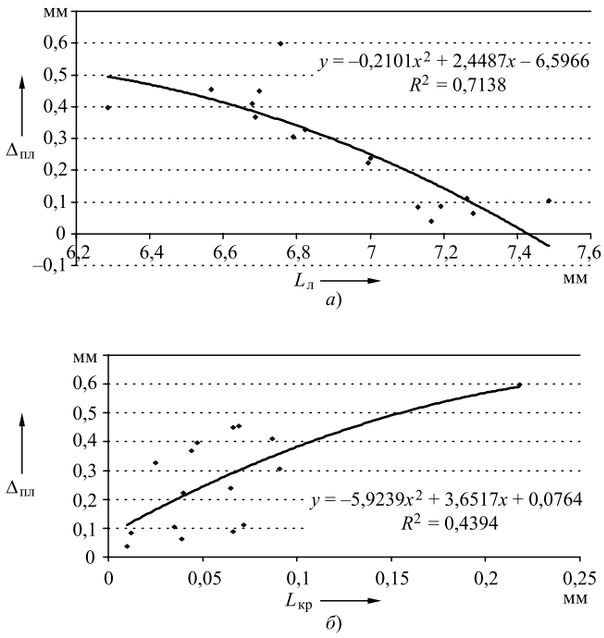



*Рис. 2 Изменение износа рабочего элемента клапана в зависимости от отклонения его профиля в линейных (а) и круговых (б) сечениях*

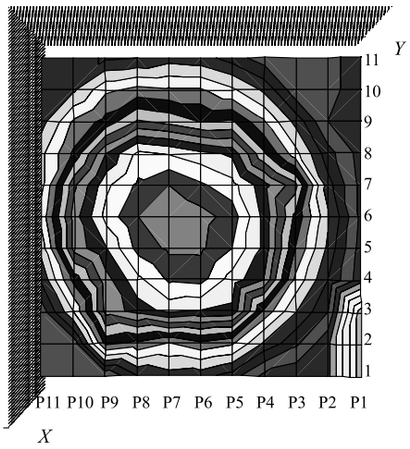



*Рис. 3. Положение очага максимального износа большинства клапанов дизеля КамАЗ-740*

Та же картина и с распределением отклонений $L_{кр}$ профилей в круговых сечениях кулачков (кривая *2*).

Проведенный автором корреляционный анализ показал следующее: увеличение износа по линейному размеру приводит к однозначному увеличению её отклонения от $\Delta_л$ плоскостности (рис. 2, *а*) и отклонения $\Delta_{кр}$ в круговых сечениях (рис. 2, *б*).

Для того, чтобы установить условия контакта по сборочному чертежу и деталировке узла, были составлены также размерные цепи отдельного для каждой из координат установки и определено номинальное положение линии контакта толкателя клапана с кулачком распределительного вала. В результате расчёта размерной цепи установлены следующие положения линии контакта: в осевом направлении она составляет $0^{+1{,}010}_{-0{,}742}$ мм или $0{,}268^{+0{,}876}_{-0{,}876}$ мм (из предположения о нормальном законе распределения линейных размеров звеньев осевой размерной цепи), в радиальном направлении — 0,266 мм симметрично относительно оси вращения кулачка.

Анализ формы рабочего элемента показал: у только что изготовленного клапана линейный размер профиля равен 7,084 мм, причём профили как в продольных, так и круговых имеют эквидистантную форму с выраженным наклоном в 0,02 мм. Все показатели точности находятся в границах полей допусков. У изношенных же толкателей клапана в большинстве случаев очаг износа имеет форму кратера (рис. 3). Причём с увеличением его глубины наклон стенок кратера увеличивается, а очаг максимального износа у большинства клапанов находится по центру рабочей поверхности. При этом профиль продольного его сечения во взаимно перпендикулярных сечениях имеет, как правило, один экстремум (рис. 4), а в круговых направлениях от центра к краю — увеличивается и имеет несколько периодически повторяющихся волн амплитудой 0,02 мм (рис. 5), являющихся следствием неравномерности приработки кулачка и рабочей поверхности из-за вращения толкателя вокруг своей оси. Отклонение от перпендикулярности принимает значение до 0,03 мм.

Таким образом, равномерный кратерообразный износ поверхности рабочего элемента с поверхностью кулачка в процессе приработки можно считать явлением нормальным. При этом отклонение от перпен-

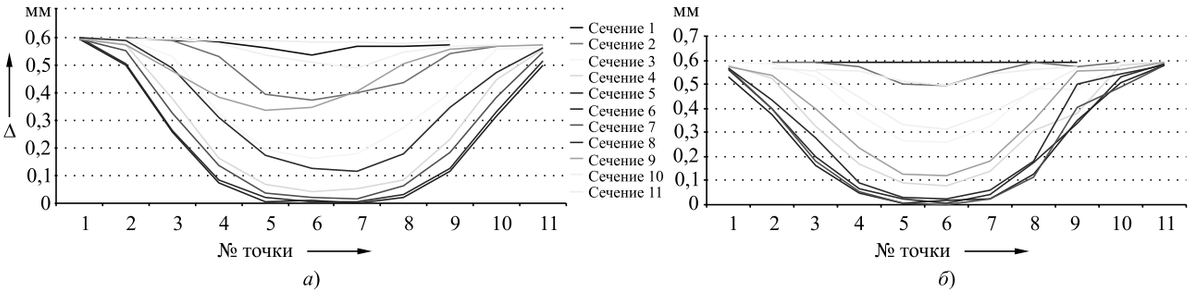



*Рис. 4. Профиль продольного сечения приработанного (а) и нового толкателей:*
*1...6* — номера сечений

дикулярности оси направляющего элемента относительно прилегающей поверхности рабочего элемента плоскости может доходить до 0,1 мм.

При исследовании комплекта толкателей обнаружился и такой интересный факт: у трёх из них форма износа отличалась от форм других толкателей. Их поверхность повторяла форму только что изготовленного толкателя, но имела увеличенный до 0,15 мм наклон образующих, а их размерный износ был, по сравнению с кратерной формой износа, незначительным. Причём координата максимального износа этих толкателей смещена к краю рабочего элемента, а отклонение от перпендикулярности оси — в 2...3 раза больше, чем у толкателей с очагом износа в виде кратера. Это говорит о том, что износ, повторяющий форму рабочего элемента только изготовленного клапана, сопровождается изгибом направляющего элемента.

По данным измерений был рассчитан объём снятого в процессе работы ГРМ материала, т.е. массовый износ контактного слоя. Как оказалось, он тоже крайне неравномерен — изменяется от 0,16 г у толкателя № 6 до 1,49 г у толкателя № 3.

В ходе исследований было также установлено, что у большинства толкателей рассматриваемого дизеля наблюдаются очаги выкрашивания поверхности рабочего элемента: на ней чётко прослеживаются концентрические риски, являющиеся следствием механического воздействия в результате поворота толкателя клапана.

Изнашиваются и кулачки распределительного вала. Иногда — катастрофически. Встречаются на них и задиры. (Впрочем, и на плоских поверхностях толкателей — то же.) Причина — развитие процесса микроконтактного схватывания, происходящего в случае превышения вполне определенного для каждого трибосопряжения энергетического уровня поверхностных слоев, а точнее — высокие температуры на пятнах фактического контакта, что может служить физически обоснованным критерием оценки задиростойкости сопряжения "кулачок — плоский толкатель".

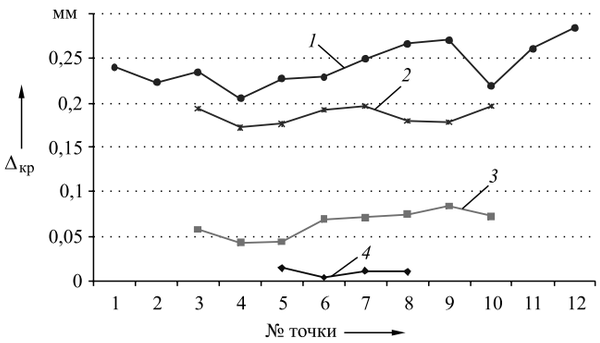



*Рис. 5. Профиль круговых сечений толкателя:*
*1...4* — номера сечений

Таким образом, исследование показало, что, во-первых, при одном и том же пробеге износ толкателей по относительному положению рабочего элемента очень неравномерен, а усталостное хрупкое разрушение микрообъёмов приводит к уменьшению относительного линейного расстояния между элементами размерной цепи и увеличению отклонения от плоскостности: во-вторых, форма изношенного рабочего элемента большинства толкателей клапанов равномерная и имеет форму кратера, угол наклона стенок которого с увеличением отклонения от плоскостности увеличивается, но наибольшая глубина кратера не означает максимального массового износа (например, у толкателя № 14 он равен 1,49 г, а у толкателя № 2 — 1,45 г.); в-третьих, несколько изношенных рабочих элементов толкателей из выборки повторяют форму только что изготовленного клапана, при этом координата очага максимального износа смещена от центра толкателя, т.е. налицо — отсутствие приработанности. И как результат — повышенное отклонение от перпендикулярности направляющего элемента; в-четвертых, вращение толкателя вокруг своей оси и равномерный износ по всему комплекту толкателей в процессе передачи закона движения (следовательно, и эксцентриситет) не гарантируется, что подтверждается наличием неравномерно изношенных приёмных элементов клапанов (расчёт размерной цепи в осевом сечении распределительного вала показал отклонение оси толкателя и плоскости симметрии кулачка, равное 0,268 мм).

**Литература**

1. Корчемный Л.В. Механизм газораспределения автомобильного двигателя: Кинематика и динамика. — 2-е изд. перераб. и доп. М. Машиностроение, 1981. — 191 с.
2. Новиков В.Г., Федоров А.А., Бытев Д.О. Критерий задиростойкости сопряжения кулачок — плоский толкатель автомобильного дизеля / Справочник. Инженерный журнал № 7, 2004. С. 24...31.

av0316.fm Page 32 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

# ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 623.002.56

## БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**А.В. АГОШКОВ**, д-р техн. наук **С.С. КУТОВОЙ**, **А.Ю. КОТЛЯРОВ**
Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова

*Рассматриваются теоретические основы комбинированных технологических процессов обработки деталей, выполненных из стали и сплавов.*

***Ключевые слова:*** *обработка поверхности, комбинированные процессы обработки, металлы и сплавы, электрическое воздействие, химическое воздействие, механическое воздействие.*

**Agoshkov A.V., Kutovoy S.S., Kotlyarov A.Yu.**
**BASIC TECHNOLOGY EFFECTS AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES AT COMBINED PROCESSING MACHINERY PARTS**

*Theoretic basics of combined technological processing machinery parts from steel and and alloy are considered.*

***Keywords:*** *processing of surface of detail, combined processes, metals and alloys, electrical effect, chemical effect, mechanical effect.*

Современные процессы обработки металлов и сплавов, как правило, комбинированные, состоящие из различных сочетаний базовых воздействий [1] — механических, тепловых, химических, электрических, электромагнитных. Такие сочетания по производительности и качеству существенно расширяют, например, возможности электроэрозионной и механической обработки абразивным инструментом и т.п. Это обусловлено физико-химическими явлениями и эффектами взаимодействия, обеспечивающими очень высокий уровень концентрации потоков энергии различной физической природы [2]. При этом особый интерес проявляется к двум вариантам сочетаний базовых воздействий — электрического с химическим, а термического, электрического и электромагнитного. Поэтом именно о них и пойдёт речь ниже.

При рассмотрении этих вариантов авторы приняли, что каждый из них поочерёдно строится на трёх базовых процессах — анодное растворение, механическая обработка и термическое растворение.

Начнем с первого. Анодное растворение — основа электрохимической обработки, позволяющая получить заданные формы и размеры детали путём удаления припуска с её заготовки. Реализуется анодное растворение в водном растворе электролита с помощью электрода-инструмента, копирующего форму заготовки. При этом электрический ток проходите через межфазную границу "электрод—электролит за счёт электрохимических реакций, в которых участвуют как электроны, так и ионы. Причём на электроде одновременно может протекать не одна, а несколько различных электрохимических реакций, например, анодное растворение металла ($M \rightarrow M^{z+} + ze$) выделением газообразного кислорода ($2H_2O \rightarrow O_2\uparrow + 4H^+ + 4e$). На катоде же электрода-инструмента в большинстве случаев выделяется газообразный водород ($2H_2O + 2e \rightarrow H_2\uparrow + 2OH^-$), а образующиеся вблизи поверхности анода катионы $M^{z+}$ металла взаимодействуют с водой с образованием гидрокомплексов ($M^{z+} + H_2O \leftrightarrow MOH^{(z-1)+} + H^+$).

За счёт протекания второй и четвёртой реакций прианодный слой подкисляется электролита, а третья — его подщелачивает. Эти два слоя смешиваются, в результате чего образуется гидроксид металла ($MOH^{(z-1)+} + (z-1)OH^- \rightarrow M(OH)_z$), твёрдые частицы которого есть шлам, загрязняющий электролит и изменяющий его pH и вязкость. Все эти электрохимические реакции — гетерогенные, с переносом заряда из одной фазы в другую. При этом анодные процессы, с учётом переноса ионов металла через границу фаз "деформируемое твёрдое тело—раствор электролита", имеют локальные, которые можно подсчитать по формулам № 1 (см. таблицу) плотности анодного тока.

Тепловая химическая энергия $U_a^0$ активации металла зависит от внутреннего строения исходных частиц и частиц, находящихся в активированном состоянии, и не зависит от электростатического поля на границе фаз. Таким образом, вторая и четвертая из формул № 1 показывают возможность локального изменения скорости анодного процесса при изменении температуры локальной реакционной зоны. Особенно это эффективно при высоких значениях $U_a^0$. Если же говорить в целом, то анализируя формулы № 1, можно сделать вывод: меняя энергетическое состояние поверхностного слоя (его свободную энтальпию), путем локальной пластической деформации или термического воздействия можно изменять скорость анодного растворения.

Данные закономерности наблюдаются при протекании электродного процесса в режиме реакционного перенапряжения η. Так, при высоких плотностях тока, что свойственно для электрохимической обработки, анодное растворение в стационарном режиме протекает при концентрационных ограничениях, лимитирующих скорость растворения металла. Из чего следует: увеличение анодной плотности тока приведёт к насыщению прианодного слоя продуктами реакции и образованию солевого слоя, т.е. пассивации анода. Результатом же дальнейшего увеличения перенапряжения станет транспассивное растворение и начало других реакций на аноде. (Механизм транспассивного растворения обусловлен увеличением дефектности пассивирующего слоя с увеличением потенциала анода до критического уровня, что приводит к его механическому разрушению и началу транспассивного

растворения. То есть этот механизм отражает внутренние закономерности процесса и является альтернативным термокинетическому механизму, согласно которому транспассивное растворение обусловлено действием на аноде поверхностного источника теплоты.)

В общем случае перенапряжение η складывается из трёх составляющих (формула № 2), а технологическое напряжение $V_u$ распределяется в магнитно-электрическом процессе в соответствии с формулой № 3 по зависимости. Отсюда можно записать формулу № 4, из которой видно, что увеличить локальную плотность $j_{лок}$ тока можно за счёт снижения перенапряжения η. Правда, при комбинированном электро-физико-химическом процессе обработки при высокой скорости течения электролита величина концентрационного перенапряжения мала. Но при неподвижном электролите, что свойственно лазерной электрохимической обработке, она возрастает, что повышает вероятность появления предельного тока, следовательно, и ограничения скорости анодного растворения.

Таким образом, основным путём повышения локальной скорости диспергирования является создание высокого перенапряжения на обрабатываемой поверхности и его снижение до минимума локальным кон-

Таблица 1

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 1 | $j_{лок} = j_o \exp\left(\frac{\Delta PV}{RT}\right);\ j_a = j_o \exp\left(\frac{\alpha z F \eta}{RT}\right);$ $j_0 = j_a c_м \exp\left(\frac{\alpha z F \varepsilon_{равн}}{RT}\right);\ k'_a = zFk'' \exp\left(\frac{-U_a^0}{RT}\right);$ | $j_{лок}$ — локальная плотность тока; $j_o$ — плотность тока обмена; $\Delta P$ — избыточное давление в твердой фазе; $V$ — парциальный мольный объем; $R$ — газовая постоянная; $T$ — термодинамическая температура; α — коэффициент переноса; $z$ — число зарядов иона; $F$ — постоянная Фарадея; $\eta = \varepsilon - \varepsilon_{равн}$ — перенапряжение; ε — потенциал анода; $\varepsilon_{равн}$ — равновесный потенциал; $c_м$ — концентрация металла; $U_a^0$ — энергия активации ионизации металла; $k''$ — константа скорости реакции |
| 2 | $\eta = \Delta\varphi_{реак} + \Delta\varphi_{канц} + \Delta\varphi_{ил}$ | — |
| 3 | $v_и = \eta + \Delta\varphi_{см}$ | — |
| 4 | $j_п = \frac{v_и - \eta}{sr}$ | $s$ — межэлектродный зазор; $r$ — удельное сопротивление |
| 5 | $q_s = i(\eta + \pi)$ | π — коэффициент Пельтье |
| 6 | $c_v(x) = c_{vs} \exp\left(-\frac{v_{эхо} x}{D_0}\right)$ | $v_{эхо}$ — скорость анодного растворения; $D_0$ — коэффициент диффузии; $c_{vs}$ — концентрация вакансий на поверхности анода, $x$ — расстояние от поверхности анода вглубь |
| 7 | $q_p^* = \eta \sigma_i \dot{\varepsilon}_i$ | η — коэффициент перехода пластической работы в теплоту; $\sigma_i$ — комплекс тензоров напряжений; $\dot{\varepsilon}_i$ — скорость деформации |
| 8 | $q_д = (1 - \eta)\sigma_i \dot{\varepsilon}_i$ | — |
| 9 | $\dot{\varepsilon}_i = \chi \rho_д \bar{b} v_д$ | χ — ориентационный фактор; $\rho_д$ — плотность дислокаций; $\bar{b}$ — вектор Бюргерса, $v_д$ — скорость дислокаций |
| 10 | $\tau_c = \frac{2U_0}{\pi \bar{b}^2 l}$ | $U_0$ — энергия связи дислокации с дефектом; $l$ — длина дислокационной линии |
| 11 | $v_д = v_0 \left[-\frac{\left(\Delta U_0 - V\tau - \bar{b}\rho^{-0,5} F_e\right)}{KT}\right]$ | $\Delta U_0$ — энергия активации; $b\rho^{-0,5} F_e$ — дополнительное эффективное напряжение, создаваемое электрическим током; $V$ — активационный объём; τ — механическое напряжение |
| 12 | $q_{элм} = \varepsilon\varepsilon_0 c E^2$ | ε и $\varepsilon_0$ — электрическая и диэлектрическая постоянные среды; $c$ — скорость света; $E$ — напряженность электрической составляющей электромагнитной волны |
| 13 | $q = \eta q_{зам} = -\lambda \operatorname{grad} T$ | λ — коэффициент теплопроводности; $T$ — температура |
| 14 | $q = \eta q_{элм} = -a \operatorname{grad}(U)$ | $U$ — внутренняя энергия; $a$ — коэффициент температуропроводности |
| 15 | $j_э = -\chi \operatorname{grad} \varphi$ | — |
| 16 | $q_m = \frac{v_{плаз}\left(p_{плаз} + \rho h + \rho v_{плаз}^2\right)}{2}$ | $v_{плаз}$ — скорость потока плазмы; $p$ — давление; $h$ — удельная энтальпия плазмы, ρ — её плотность |

центрированным потоком энергии, что изменяет такие его физико-химические характеристики, как температура $T$, перенапряжение $\eta$ или свободная энтальпия поверхностного слоя анода, а также выход по току.

Далее. Электрохимические реакции относятся к классу необратимых процессов и сопровождаются диссипацией энергии в виде поверхностного тепловыделения $q_s$, которое можно подсчитать по формуле № 5. В растворе электролита выделяется джоулева теплота $q_D = i^2\rho$ (здесь $\rho$ — плотность раствора), которая в отличие от поверхностного (собственно электрохимической реакции) имеет объёмный характер, потому что в приповерхностном слое анода изменяется концентрация вакансий и возникает неравновесное состояние, инициирующее диффузионный поток химических компонентов металла. Это изменение концентрации вакансий связано со скоростью $v_{эхо}$ анодного растворения зависимостью № 6 и оказывает существенное влияние на движение дислокаций в приповерхностном слое, создавая химическую силу, способствующую их переползанию (неконсервативное движение). Результат такого вакансионно-дислокационного взаимодействия — изменение физико-механических свойств кристаллической структуры, а следовательно, и возможность управления уровнем упрочнения металла и остаточными напряжениями в нем.

Теперь о втором базовом процессе — механическом воздействии. Такое воздействие — всегда контактное, т.е. осуществляется только при контакте инструмента с обрабатываемой поверхностью. Кроме того, может осуществляться в различных режимах, определяемых отношением глубины внедрения к радиусу контактируемых элементов, а также механическими показателями материала заготовки [3]. Режимов этих три: упругого деформирования, когда величина $M = h_{‰}/R \leq 0{,}01$; пластического деформирования, когда $0{,}01 \leq M \leq 0{,}5(1 - 2\tau_s/\sigma_т)$ и диспергирования, когда $M \geq 0{,}5(1 - 2\tau_s/\sigma_т)$. (Зесь $\tau_s$ — молекулярная составляющая силы трения, $\sigma_т$ — предел текучести металла.)

Механическое воздействие [4] характеризуется тензором $\sigma_i$ напряжений и деформаций скоростью $\dot{\varepsilon}_i$ деформации, а также удельной мощностью (коэффициентом $\eta_т$ перехода пластической работы в теплоту), выделяющейся тепловой энергии, вызванной пластическим деформированием в фиксированной материальной точке элемента поверхностного слоя детали (формула № 7). При этом часть работы пластического деформирования аккумулируется структурными несовершенствами, в основном типа дислокаций, что увеличивает термодинамический потенциал (изобарно-изотермический потенциал Гиббса). Плотность $q_д$ аккумулированной энергии определится из формулы № 8. Скорость $\dot{\varepsilon}_i$ деформации, наряду с температурой и приложенным механическим напряжением, является базовым параметром в дислокационной теории пластической деформации. Согласно этой теории, скорость $\dot{\varepsilon}_i$ дает формула № 9.

Дислокации в кристалле металла закреплены на стопорах различного вида, а напряжение $\tau_c$, необходимое для механического их отрыва от центра закрепления, соответствует формуле № 10.

На дислокации в металле при прохождении тока через него действуют две силы: механическая и электронная. Они снижают высоту потенциальных барьеров в кристаллической решетке. Учитывая это, для скорости $v_д$ дислокации можно записать формулу № 11.

Как из неё видно, электрический ток за счёт изменения скорости $v_д$ дислокаций и снижения энергии $U_0$ связи может вызывать электропластический эффект, механизм действия которого заключается в следующем.

При наличии электрического поля на хаотическое движение электронов накладывается их упорядоченное перемещение в направлении этого поля. При этом часть энергии передается на дислокации. И поскольку дислокации, участвующие в пластической деформации, относятся к классу дефектов кристаллической решетки, то электроны передают на них часть энергии. В результате процесс пластической деформации на дислокации интенсифицируется.

Но этот эффект, как показали эксперименты, проявляется при плотностях анодного тока, равных 1000...10 000 А/мм$^2$, что на три порядка превышает плотности тока при комбинированных электро-физико-химических процессах обработки. Однако формула № 11 характеризует совместное действие механических и электрических воздействий. Кроме того, она учитывает и то, что анодное растворение поверхностных слоев заготовки приводит к исчезновению атомов-стопоров и повышению концентрации вакансий, что также инициирует движение дислокаций.

Наконец, обратимся к третьему базовому процессу — термическому воздействию.

В комбинированном процессе термическое воздействие может осуществляться за счёт того, что электрические разряды между инструментом и заготовкой инициируют низкотемпературную плазму, или её поток. Но этот поток можно получить и с помощью плазмотрона, теплового действия лазерного излучения при неселективном нерезонансном поглощении этого излучения веществом или продуктами реакции. При этом каждое воздействие вызывает не только локальное плавление и испарение поверхности анода, но и локальную скорость анодного растворения [5]. Электромагнитное излучение в этом случае имеет плотность $q_{элм}$ энергетического потока, соответствующую формуле № 12.

При взаимодействии энергетического потока с обрабатываемой поверхностью одна часть его энергии поглощается, вторая — отражается или поглощается в рабочей среде межэлектродного пространства. При этом поглощенная часть формирует процесс теплопроводности в соответствии с законом Фурье. И если фазовые превращения на обрабатываемой поверхности отсутствуют, то для оценки её поглощающей способности $\eta_{погл}$ можно использовать формулу для плотности $q$ потока энергии, т.е. формулу № 13. Если же фазовые превращения есть, то пригодна формула № 14.

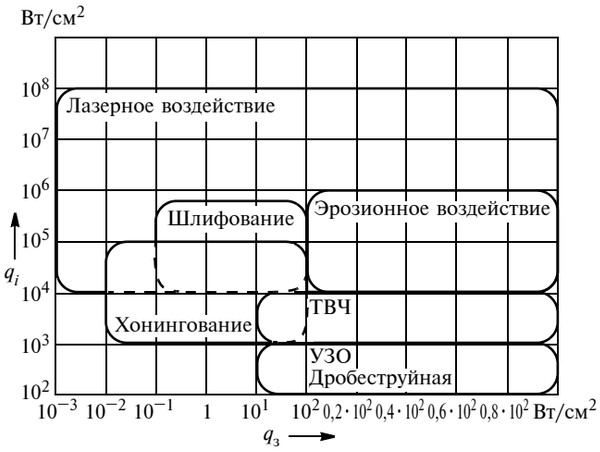
Таким образом, меняя коэффициент $\eta_{погл}$ поглощения, можно менять плотность энергетического потока, поглощенного обрабатываемой поверхностью. Для этого достаточно изменить диэлектрические константы среды за счёт электрохимического воздействия, формирующего электрический и покрывающие его слои на аноде. При этом значение электрического воздействия, характеризуемого потоком заряженных частиц, даёт формула № 15. Это значение зависит от величины электропроводности рабочей среды магнитно-электрического процесса. Поэтому в формировании газопарового диэлектрического слоя и достижении величины напряженности электрического поля достаточной для электрического пробоя могут сопровождаться различными физико-химическими явлениями: переносом зарядов, фазовыми превращениями. Но в любом случае тепловое воздействие потока плазмы характеризуется эффективной тепловой мощностью $Q = \eta_{эф} U_{дуг} I$ ($\eta_{эф}$ — эффективный КПД источника, $U_{дуг}$ — напряжение дуги, $I$ — её сила тока).

Большая скорость потока плазмы позволяет получать большой газодинамический напор, поэтому в формуле для определения плотности потока энергии, подводимой к поверхности заготовки, необходимо учитывать и эту составляющую, т.е. $q_м$ (формула 16).

Для повышения эффективности теплового воздействия магнитоэлектрического воздействия на заготовку необходимо уменьшать потери, обусловленные нагревом межэлектродного пространства рабочей среды, в которой плазма перемещается к обрабатываемой поверхности. Однако способов такого уменьшения пока что нет. Поэтому и используются тепловые потоки, формируемые с помощью электрических разрядов. При этом генерируются энергетические потоки высокими плотностью и степенью локализации, чем в случае плазменного потока. Кроме того, тепловые потоки всегда генерируют и механическое, и электрохимическое воздействия.

Как видно из вышесказанного, технологические воздействия, определяющие варианты комбинаций электрофизикохимических процессов обработки заготовок, имеют различный диапазон изменения плотности энергетических потоков. Чтобы ещё раз подтвердить этот вывод, авторы приводят взятый из работы [6] рисунок, на котором приведены уровни плотности $q_i$ энергетических потоков различных комбинированных электрофизикохимических процессов обработки. Из него следует, что эти процессы не равноценны. Наиболее широкий диапазон изменения имеет лазерно-электрохимическая обработка. Электроэрозионно-электрохимическая (эрозионная) обработка имеет ограничения снизу, что обусловлено большой величиной межэлектродного промежутка, в котором формируется газопаровой слой, воздействующий на поверхность заготовки, и т.д. Подтверждают это эффекты, полученные при различных процессах обработки (табл. 2).

Отсюда и вывод: и закономерности управления комплексом выходных технологических показателей качества обработки не могут быть одинаковыми. Следовательно, алгоритмы управления этими параметрами должны быть сугубо конкретными для каждого из трёх вариантов базовых процессов. Хотя, конечно, управляемые параметры во всех случаях, по сути, одни и те же, поскольку при комбинировании базовых воздействий в единый процесс обработки возникают очень похожие физико-химические явления и эффекты взаимодействия, способствующие локальному изменению скорости плавления, испарения, механического диспергирования, химического и анодного растворения, т.е. изменению основных рабочих процессов. Да и цель управления у всех трёх вариантов одна: добиться, чтобы фазовые превращения и другие кинетические явления способствовали эффективному выносу продуктов диспергирования припуска. Но при этом следует иметь в виду, что только механическое воздействие способно осуществить как диспергирование, так и отвод диспергированных частиц. Все же остальные воздействия не могут передать непосредственно элементам диспергирования какое-либо количество движения, т.е. отводить продукты фазовых превращений, химического и анодного растворения. Поэтому при них приходится создавать дополнительные (вспомогательные) процессы для выноса элементов удаленного припуска. Причём эту функцию могут выполнять не только устройства механического действия, но и фазовые превращения, термические и кинетические процессы, которые способны переносить либо дефекты кристаллической решетки типа вакансий, дислокаций в приповерхностном слое заготовки, либо импульсы и массу (газообразование, кипение, кавитация и т.п.) в межэлектродном пространстве. Для этого такие воздействия, очевидно, должны иметь повышенный уровень плотности энергетических потоков.




*Уровни плотности энергетических потоков различных комбинированных электро-физико-химических процессов обработки*

И последнее. Кинетические процессы в приповерхностном слое заготовки, согласованные со скоростью формообразования, определяют физико-механические параметры поверхностного слоя, и они же в рабочей среде являются необходимым условием генерирования внутренних воздействий при объединении двух

Таблица 2

| Комбинированный процесс | | Эффект | Физико-химические процессы и изменяемые параметры | Изменение технологических показателей |
|---|---|---|---|---|
| Электро-химико-механический | | Механохимический | Сдвиг равновесного потенциала в отрицательную сторону | Локальное увеличение скорости анодного растворения |
| | | Хемомеханический | Пластифицирование поверхностного слоя | Изменение скорости механического диспергирования |
| | | Электропластический | Пластифицирование поверхностного слоя | Изменение скорости механического диспергирования |
| | | Депассивация | Уменьшение электрохимиического перенапряжения | Локальное увеличение скорости анодного растворения |
| | | Термический | Фазовые превращения в МЭП и изменение констант переноса | Изменение скорости анодного растворения |
| Электро-химико-термический | Лазерно-электро-химический | Термический | Изменение равновесного потенциала и электрохимического перенапряжения | Локальное увеличение скорости анодного растворения |
| | | Изменение выхода по току | Изменение доли целевой и побочных реакций | Изменение скорости анодного растворения |
| | | Увеличение количества носителей тока | Увеличение анодного тока при обработке полупроводников | Локальное увеличение скорости анодного растворения |
| | | Термомеханический | Уменьшение электрохимиического перенапряжения | Локальное увеличение скорости анодного растворения |
| | | Увеличение поглощательной способности | Формирование электрохимическим процессом экранирующих слоев | Увеличение скорости плавления и испарения |
| | Электро-эрозионно-электро-химический | Образование газопарового слоя в межэлектродном пространстве | Электрический разряд | Инициирование эрозионного диспергирования |
| | | Термические процессы | Изменение доли целевой и побочных реакций | Изменение локальной скорости анодного растворения |

внешних воздействий. При этом точность формы и шероховатость поверхности детали достигаются к концу обработки заготовки, а физико-механические параметры поверхностного слоя создаются в течение всего процесса. Они есть результат изменения свойств исходного состояния за счёт кинетических процессов в поверхностном слое, протекающих совместно со съёмом припуска. Структурная схема, в зависимости от вида и уровня плотности энергетических потоков комбинированных воздействий, может иметь различные причинно-следственные связи, но общим всегда является образование самосогласованной системы в результате интегрального действия силовых полей: электрического, термического, механических напряжений и гидродинамического. Эффекты взаимодействия проявляются в возникновении дополнительных потоков переноса, вызванных смежным воздействием. Например, механическое воздействие в виде пластического деформирования увеличивает число дислокаций в детали, а если к нему добавить электрохимическое воздействие, то градиент электрохимического потенциала, а значит, и число дислокаций, существенно возрастут. Причем эффекты взаимодействия всегда имеют парный характер проявления, поэтому усиливают друг друга и могут оказывать влияние на процессы переноса при низком уровне энергетических отдельно взятых потоков воздействий. Складываясь, они приобретают более высокий энергетический уровень воздействий, благодаря этому изменяется скорость диспергирования не только от термодинамического, но и от кинетического фактора. Так в металле проходят термические и кинетические процессы переноса, которые в совокупности изменяют как уровень свободной энтальпии, так и кинетической энергии движения дефектов строения, а в электролите происходит накопление кинетической энергии газопаровых пузырьков, явлений кавитации.

**Литература**


1. Усов С.В., Назаров, Ю.Ф., Коротков И.А. Комбинированные методы обработки в машиностроении. — М.; ЮНИТ, 2002. — 398 с.
2. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Нетрадиционные методы обработки материалов: Учеб. пособие. — М: МГОУ. — 2003. — 357 с.
3. Назаров Ю.Ф., Талдонов Г.В., Курченко В.В. Основы наноабразивной обработки деталей машин // Вестник машиностроения. 2007. № 9. С. 32...37.
4. Ярославцев В.М. Размерная обработка: Мультимедийный учебник. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — CD-R. — № гос. рег. 0320400664.
5. Наукоемкие технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Под ред. Б.П. Саушкина. — М.: Издательство "Форум". 2013. — 928 с.
6. Физико-химические методы в производстве газотурбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. — М.: Издательство Дрофа. 2002. 656 с.

av0316.fm Page 37 Wednesday, March 2, 2016 1:00 PM

УДК 66.02

# ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТВЁРДОГО ХРОМИРОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВ В ПРОТОКЕ ЭЛЕКТРОЛИТА

Д-р техн. наук **А.К. ТИХОНОВ**, **А.В. МИНИН**, **А.А. ЧЕРВЯКОВ**,
канд. техн. наук **А.В. ЧИКУРОВ**, **В.И. ТРОЦИК**
АВТОВАЗ, ЗАО "ПЦГ", ООО "ПКФ Галреахим"

*Рассматривается новая технология твердого хромирования крупногабаритных штампов, позволяющая решить многое проблемы современного автомобилестроения.*

***Ключевые слова:*** *крупногабаритный штамп, пуансон, матрица, прижим.*

**Tihonov A.K., Minin A.V., Chervyakov A.A., Chikurov A.V., Trozik V.I.**

**IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGY OF FIRM CHROMIUM PLATING LARGE-SIZE STAMPS IN ELEKTROLITA CANAL**

*The new technology of firm chromium plating of large-size stamps allowing to solve a lot of things problems of modern automotive industry is considered.*

***Keywords:*** *large-size stamp, punch, matrix, clip.*

Твёрдое хромирование — один из наиболее распространенных видов гальванических покрытий, защищающих поверхности деталей машин и механизмов от износа, налипания на них контактирующих материалов и применяемых для повышения твёрдости и износостойкости различного мерительного и режущего инструмента и т.д. Оно позволяет существенно повысить срок службы ответственных деталей технологического оборудования и экономить на его ремонте. В частности, очень большой эффект оно даёт при хромировании пресс-форм, предназначенных для изготовления изделий из пластмасс, резины, в порошковой металлургии, а также штампов глубокой вытяжки для производства деталей из листовой стали [1, 2]. Поэтому в настоящее время методов твёрдого хромирования существует много, но наиболее часто применяются лишь два: скоростное хромирование в протоке электролита (для хромирования внутренних и внешних поверхностей изделий, имеющих простую конфигурацию) и хромирование погружением изделия в ванну со стандартным, разбавленным, тетрахроматным, кремнефтористым электролитом и электролитом, имеющим в своем составе наноприсадки. Микротвёрдость получаемых с помощью обоих способов покрытий зависит от технологии и режимов их нанесения и может превышать 1200 HV [2], а коэффициент трения — единиц процентов (например, в паре "хром—чугун" он равен 0,06...0,08 [3]).

Одно из важных свойств хромовых покрытий — их низкая "смачиваемость", т.е. низкая адгезия к другим материалам, способствующая снижению налипания обрабатываемого материала к поверхности изделия [3], что позволяет их использовать в качестве метода упрочнения штамповой оснастки.

Достоинства этого метода широко реализуются в зарубежном автомобилестроении. В них убедились и технологи ВАЗа, который в свое время импортировал значительное количество оборудования для штамповки автомобильных деталей: стойкость элементов штамповой оснастки оказывается в 10 раз выше стойкости элементов, не имеющих хромового покрытия. Поэтому было принято решение освоить твёрдое хромирование крупногабаритных штампов глубокой вытяжки и в нашей стране.

Эту задачу решают в настоящее время специалисты ЗАО "Поволжский центр гальваники". Причём применительно именно к крупногабаритным автомобильным деталям кузова автомобиля. Штамп для изготовления таких деталей представляет собой механизм, состоящий из трёх профильных элементов, — пуансона, прижима и матрицы. Максимальные габаритные размеры этих элементов чаще всего не превышают 4,5 × 2,5 × 1,5 м, максимальная масса одного может достигать 20,0 т, общая площадь поверхности составляет 2...15 м$^2$, а площадь рабочей поверхности — 0,5...4 м$^2$. Причём в процессе изготовления деталей кузова каждого автомобиля используется, как правило, более 10 видов штампов глубокой вытяжки с различными конфигурацией рабочей поверхности и размерами. Выполняют эти штампы из различных видов и марок чугунов, но до недавнего времени основным материалом пуансона, прижима и матрицы были серые чугуны марок ХФ, ХРТД и др. [3], твёрдость которых, как правило, не превышает 300 HB. Однако в последние годы для отливок деталей штампов всё чаще используются чугуны высокопрочные, поскольку выполнение из них штампы имеют значительно меньшую массу деталей, а их прочность и износостойкость, наоборот, — более высокие. Твёрдость же таких чугунов без дополнительной обработки составляет ~400 HB. Правда, их себестоимость в 2 раза выше себестоимости штампов из серых чугунов. Но дело того стоит. Ведь качество штампованных деталей во многом зависит от состояния рабочих поверхностей штампов, которое, в свою очередь, определяется способностью штампа сопротивляться воздействию сил трения, возникающих между штамповой оснасткой и деталью. И высокопрочный чугун здесь лучше серого: он малодеформируем, менее склонен к разрушению, истиранию, изнашиванию, поэтому на рабочей поверхности выполненного из него штампа довольно долго не возникают такие повреждения, как наколы, гофры, риски, задиры и т.д.

Таким образом, переход с серого чугуна на высокопрочный решает одну из важнейших технологических проблем автомобилестроения, чем специалисты ЗАО "ПЦГ", естественно, не могли не воспользоваться.

Однако перед ними возникла ещё одна проблема: на ВАЗе, как и на автозаводах зарубежных фирм, для изготовления кузовных деталей начали применять горячеоцинкованный стальной прокат. Наличие же цинкового покрытия на поверхности штампуемой детали отрицательно сказывается на величине коэффициента трения в зоне контакта заготовки с оснасткой и на условиях пластичной деформации металла в процессе формовки и вытяжки: в процессе штамповки деталь начинает сдираться, и отслоённые частицы цинка (а вместе с ними и другие загрязнения) "приваривают-ся" к поверхности штампа, а затем, постепенно накапливаясь, образуют достаточно крупные частицы, которые начинают деформировать и повреждать поверхность детали.

Чтобы этого избежать, приходится часто линии останавливать для ручной чистки рабочих поверхностей штамповой оснастки. Со всеми вытекающими отсюда последствиями для производительности этих линий. Правда, технологи ВАЗа, столкнувшись с такой проблемой при работе с импортным оборудованием, нашли,

как им казалось, довольно удачный вариант её решения — метод газотермической металлизации (бронзирования) рабочей поверхности штампа, — напыление расплава бронзы на слой молибдена, предварительно нанесённого на эту поверхность. Однако практика показывает: слой бронзы сильно и быстро изнашивается, и всего лишь после 3...5 тыс. циклов штамповки его приходится восстанавливать. Что ведёт к необходимости останавливать прессовую линию. Поэтому специалисты ЗАО "ПЦГ" решили наносить на рабочую поверхность штампов не медное, а твёрдое хромовое покрытие. И это решило проблему: работоспособность штампов увеличилась до 500 тыс. циклов. Существенно снизился процент бракованных штамповок, даже выполненных из горячеоцинкованного проката.

Технология нанесения твердого хромового покрытия, в принципе, хорошо известна. Но классические её варианты требуют постоянного перемещения и погружения хромируемых деталей в ванны для обезжиривания, промывок, активации поверхности и собственно хромирования, а следовательно, требуют наличия крупногабаритных ванн, нагревательных элементов, мощного грузоподъёмного оборудования, специальных высокопроизводительных очистных сооружений для нейтрализации промывочных вод, а также для одномоментной обработки концентрированных хромовых стоков в случае аварийного слива ванны.

Все это, естественно, связано с дополнительными затратами энергии и резким удорожанием технологического процесса. Поэтому и возник вопрос: а нельзя ли ее упростить?

Специальные исследования показали: возможность есть. В результате удалось создать технологию локального хромирования крупногабаритных изделий, в соответствии с которой все процессы подготовки и нанесения хромового покрытия проходят в одной ванне рабочим объёмом 0,5...1 м$^3$; работающей по принципу "замкнутый цикл", т.е. с минимальными сбросами загрязняющих веществ. Причём подпитка этой ванны осуществляется с помощью двух рабочих ванн объёмом 1,2 м$^3$, предназначенных для подготовки растворов, и одной ванны объёмом 3 м$^3$ для подготовки электролита хромирования. Этой технологии не нужны грузоподъёмные механизмы для перемещения крупногабаритных деталей в процессе нанесения покрытия, что предотвращает опасность падения детали массой до 20 т в ванну с технологическим раствором (деталь перемещается краном только для установки её на тележку и для отправки заказчику), а на случай возможного пролива раствора предусмотрена герметичная аварийная ванна вместимостью до 1 м$^3$, перемещаемая на тележке, что исключает необходимость изменения конструкции подключения подачи и отвода раствора от технологической ванны.

При разработке новой технологии пришлось решать и другие проблемы. Так, в реальном производстве кроме дефектов штампов, обусловленных износом рабочих поверхностей штамповой оснастки, встречаются и дефекты, вызванные либо неправильной эксплуатацией штампа, либо применением для штамповки "грязных" заготовок. Это трещины и сколы чугуна, которые устраняют методом наплавки на дефектное место металла.

*Рис. 1. Хромированная матрица штампа на деталь "арка заднего колеса автомобиля ВАЗ-2108"*

Для этого поврежденные места штампа увеличивают фрезерованием по глубине и ширине и на них создают два слоя — подложку, которая наносится с помощью электродов из практически не имеющих в своем составе легирующих добавок, и верхний слой, который наносят электродами, имеющими в своем составе легирующие элементы (никель, хром, молибден и др.). Затем верхний слой подвергается механической обработке и на него наносят хромовое покрытие.

Этот процесс, как видим, особой сложностью не отличается. Да и освоен он хорошо. Все знают, что для получения высококачественного покрытия верхний слой следует наваривать хромоникелевыми электродами, содержащими до 12 % хрома и до 3 % никеля, и что никелевые электроды с содержанием никеля до 60 % вместе с "застаревшими" окисными пленками образуют как бы вторую подложку, на которой получить качественное хромовое покрытие без предварительной подготовки нельзя [4]. Известно и то, что из-за большой разницы нормальных потенциалов материалов штампа и наплавок происходит "оттягивание" токов на наплавку, поэтому на её поверхности осаждается больше хрома, что значительно увеличивает внутренние напряжения в этом слое хрома и может вызвать отслоение покрытия.

Объединив все рассмотренное выше, специалисты ЗАО "Поволжский центр гальваники" создали новую технологию обработки рабочих поверхностей штампов, предназначенных для изготовления крупногабаритных деталей кузовов легковых автомобилей (пат. № 93806 и № 2430193, РФ). Первым из штампов, реализующих эту технологию, стал формообразующий штамп (рис. 1) на деталь "арка заднего колеса автомобиля ВАЗ-2108", характеристики деталей которого приведены в табл. 1.

На рабочие поверхности пуансона, прижима и матрицы этого штампа нанесено твёрдое хромовое покрытие толщиной 20...60 мкм микротвердостью 700...1000 HV. Его испытания в прессовом производстве ВАЗа показали: новая технология может быть применена для хромирования крупногабаритных автомобильных штампов и дать значительный экономический эффект.

Подтвердил этот вывод и штамп, предназначенный для изготовления детали "боковина кузова автомобиля ВАЗ-1118", выполненной из стали ГЦ 01ЮТ. Его матрица до хромирования показана на рис. 2, *а*, после хромирования — на рис. 2, *б*, а характеристики приведены в табл. 2.

На рабочие поверхности пуансона, прижима и матрицы этого штампа нанесено твёрдое хромовое покрытие толщиной 20...40 мкм и микротвердостью 700...1000 HV, благодаря чему он надежно работает в течение 500 тыс. циклов.

Целесообразность применения этого штампа подтвердила его проверка в том же прессовом производстве ВАЗа, а что касается его общего и экономического эффекта, то их иллюстрирует табл. 3.

После выработки ресурса хромового покрытия (его стирания) новые штампы легко восстанавливаются: для этого предусмотрели технологию снятия изношенного хромового покрытия электрохимическим методом, которая впервые в России опробована на крупногабаритных чугунных штампах глубокой вытяжки и, по прогнозам, восстановленные штампы должны отработать по количеству штамповок не меньше, чем после первого хромирования.

Таблица 1

| Деталь штампа | Марка чугуна | Масса детали, т | Габаритные размеры детали, мм | Рабочая площадь детали, м$^2$ | Твердость основы штампа, НВ |
|---|---|---|---|---|---|
| Пуансон (с плитой) | ХФ | 4,2 | 2200×1600×1115 | 1,1 | 207...255 |
| Матрица | ХРТД | 6,3 | 2700×1450×700 | 1,3 | 217...269 |
| Прижим | ХРТД | 7,1 | 2700×1450×550 | 0,2 | 217...269 |

Таблица 2

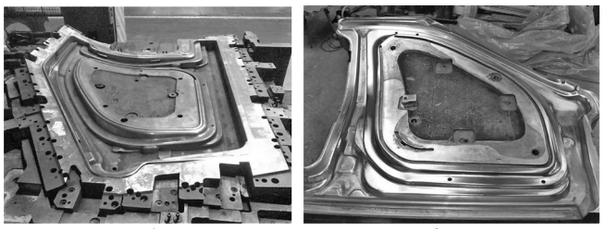
| Деталь штампа | Марка чугуна | Масса детали, т | Габаритные размеры детали, мм | Рабочая площадь детали, м$^2$ | Твердость основы штампа, НВ |
|---|---|---|---|---|---|
| Пуансон | ХРТД | 5 | 1700×1250×1000 | 1,1 | 217...269 |
| Матрица | ХРТД | 3 | 1600×1250×500 | 1,1 | 217...269 |
| Прижим | ХРТД | 6,5 | 2580×2450×700 | 0,5 | 217...269 |

Таблица 3

| Показатель | До хромирования | После хромирования |
|---|---|---|
| Возможность штамповки ГЦ проката | Нет | Да |
| Брак, % | 0,02 | 0,006 |
| Общий экономический эффект, руб. | — | 49 175 215,3 |

Таблица 4

| Требования к ведению процесса | Традиционная технология | Технология локального хромирования в протоке |
|---|---|---|
| Объем рабочих ванн, м$^3$ | 30...50 | 1...3 (ванны хранения) |
| Мощность нагревательных элементов, кВт | 400...700 | 45 |
| Грузоподъемное оборудование | Кран-балка на 20 т | Вспомогательная кран-балка на 1 т |
| Наличие изоляции нехромируемых поверхностей | Обязательно | – |
| Унос загрязняющих веществ с одной деталью штампа, л | 50 | 5 |
| Загрязнение ванн обезжиривания и хромирования смазками | + | – |



*а*) *б*)

*Рис. 2. Матрица штампа на деталь "боковина кузова автомобиля ВАЗ-1118" до (а) и после (б) хромирования*

ЗАО "Поволжском центр гальваники" за последние пять лет новую технологию применили для 26 пуансонов и прижимов формообразующих чугунных штампов, используемых в прессовых производствах ВАЗа и московского ООО "Альфа Аутомотив Технолоджиз". Результаты в обоих случаях — положительные. Об этом свидетельствуют данные табл. 4. Но если обобщить и результаты других её многочисленных проверок, то можно сделать следующие выводы, касающиеся её несомненных достоинств.

1. Все процессы подготовки и нанесения покрытия проходят в одной локальной ванне с небольшим рабочим объёмом.

2. Установка имеет замкнутый цикл с минимальными сбросами загрязняющих жидкостей.

3. Технологическая ванна подпитывается из ванн хранения максимальным объёмом 3 м$^3$, что значительно снижает затраты на материалы и энергетику.

4. Покрытие наносится только на рабочие поверхности штампов без необходимости "маскировки" остальных поверхностей.

5. Растворы не загрязняются смазками и прочими посторонними веществами, находящимися в скрытых поверхностях тела штампа.

6. Экологическая нагрузка на окружающую среду уменьшается на порядок.

7. Стойкость хромого покрытия возрастает до 500 тыс. рабочих циклов и более. При этом резко снижается процент бракованных деталей кузова автомобиля, выполненных из горячеоцинкованного проката.

8. Экономический эффект оказывается значительным в случае штампов, предназначенных для изготовления любых деталей кузова автомобилей. Например, в условиях прессового производства ВАЗа годовой экономический эффект от использования хромированных штампов может превысить 49 млн руб., а если учесть уменьшение простоев штамповочных линий от частых смен штампов на ~10 % рабочего времени, то он будет еще выше.

**Литература**


1. Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. Электрохимическое хромирование // Приложение к журналу "Гальванотехника и обработка поверхности". Москва, Глобус, 2007. С. 191.
2. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении // Машиностроение. Москва, 1979. С. 296.
3. СТП 37.101.0028—2001 Отливки. Общие технические условия.// Стандарт предприятия. Тольятти, ОАО "АВТОВАЗ", 2001. С. 25.
4. Лобанов С.А. Практические советы гальванику // Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. С. 248.

# Содержание


**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

**Дубовик Е.А.** — Современные стратегии повышения конкурентоспособности предприятия . . . . . 1

АСМ-факты . . . . . 4

**КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Балакина Е.В., Голубева Т.А., Мельников А.В.** — Положение зон разного трения в пятне контакта шины с дорогой и активная безопасность автомобиля . . . . . 6

**Бойко А.В., Федотов А.И.** — Пространственная математическая модель процесса торможения автомобиля на полноопорном роликовом стенде . . . . . 8

**Свияженинов Е.Д.** — Модернизация классических роторных бесконтактных датчиков-распределителей зажигания ДВС . . . . . 17

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС**

**Васидов А.Х., Калауов С.А., Базаров Б.И.** — Оценка эксплуатационных показателей газобаллонной техники по результатам полигонных испытаний . . . . . 19

**Геращенко В.В., Коваленко Н.А., Лобах В.П., Артеменко В.Н.** — Устройство для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля . . . . . 20

**Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А.** — Оптимизация состава смесевых биотоплив для дизелей . . . . . 22

**Швеёв И.А.** — Об износостойкости поверхности износа рабочего элемента толкателя клапана . . . . . 29

**ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ**

**Агошков А.В., Кутовой С.С., Котляров А.Ю.** — Базовые технологические воздействия и физико-химические процессы при комбинированной обработке заготовок деталей машин . . . . . 32

**Тихонов А.К., Минин А.В., Червяков А.А., Чикуров А.В., Троцик В.И.** — Импортозамещающая технология твёрдого хромирования крупногабаритных штампов в протоке электролита . . . . . 37



**Главный редактор Н. А. ПУГИН**

**Зам. главного редактора Р.В. Козырев**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Балабин И.В.** — *д-р техн. наук, профессор Университета машиностроения (МАМИ)*
**Бахмутов С.В.** — *д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"*
**Гируцкий О.И.** — *д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ*
**Гладков В.И.** — *канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"*
**Ковригин А.С.** — *зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"*
**Круглов С.М.** — *зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"*
**Ксеневич Т.И.** — *канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русаен"*
**Купеев Ю.А.** — *канд. техн. наук, научный консультант НИИАЭ, профессор, доктор электротехнических наук АЭН*
**Мамити Г.И.** — *д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)*
**Марков В.А.** — *д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана*
**Николаенко А.В.** — *д-р экон. наук, ректор Университета машиностроения (МАМИ)*
**Никульников Э.Н.** — *канд. техн. наук, НИЦИАМТ ГНЦ "НАМИ"*
**Пашков В.И.** — *АМО "ЗИЛ"*
**Сорокин Н.Т.** — *д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России*
**Тер-Мкртичьян Г.Г.** — *д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"*
**Титков А.И.** — *канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"*
**Филимонов В.Н.** — *ответственный секретарь "АП"*

***Белорусский редакционный совет:***

**Альгин В.Б.** — *д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ОИМ НАН Беларуси*
**Егоров А.Н.** — *генеральный конструктор — начальник НТЦ ПО "БелАЗ"*
**Захарик А.М.** — *канд. техн. наук, технический директор РУП "МАЗ"*
**Кухаренок Г.М.** — *д-р техн. наук, профессор БНТУ*
**Мариев П.Л.** — *д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника" ОИМ НАН Беларуси*
**Николаев Ю.И.** — *главный конструктор ОАО "МЗКТ"*
**Сазонов И.С.** — *д-р техн. наук, проф., ректор Болорусско-российского университета (Могилев)*
**Харитончик С.В.** — *д-р техн. наук, доцент БНТУ (Минск)*

Информационный партнер АНО "НИЦ "Русаен"



Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 11.01.2016. Подписано в печать 25.02.2016.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

**ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"**
Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2
Телефоны: (915) 412-52-56 и (499) 269-54-98; (495) 785-60-69 (реклама и реализация)
E-mail: avtoprom-atd@mail.ru
www.mashin.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.