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 • 2015

# ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113

## БАЛЛЬНАЯ ОЦЕНКА АВТОПРОИЗВОДИТЕЛЕМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА

Д-р техн. наук **В.Н. КОЗЛОВСКИЙ**,
канд. техн. наук **Н.В. АФИНОГЕНТОВА**, **С.А. ДЕМЕНТЬЕВ**
Поволжский ГУ сервиса (848. 63-71-40)

*Представлены результаты разработки и реализации комплекса балльной оценки эффективности деятельности предприятий фирменной сервисно-сбытовой сети автопроизводителем.*

***Ключевые слова:*** *качество, надежность, удовлетворенность потребителей, автосервис.*

**Kozlovskiy V.N., Afinogentova N.V., Dement'ev S.A.**
**POINT SCORING ENTERPRISE PERFORMANCE CORPORATE SERVICE CENTER**

*The results of development and implementation of a set-point performance evaluation of enterprises branded sales and service network by the automaker.*

***Keywords:*** *quality, reliability, customer satisfaction, car, car service.*

Конкурентоспособность современного автопрома определяется не только качеством выпускаемых его предприятиями АТС, но и эффективностью реализации всех других процессов, так или иначе связанных с потребителем. И прежде всего — удовлетворенностью клиентов качеством автосервиса. Поэтому все крупные автомобильные корпорации, реализуя свои управленческие структуры, не только в обязательном порядке учитывают необходимость создания и развития подразделений, занимающихся сервисной деятельностью, но и непрерывно совершенствуют их работу. При этом понятно, что для такого совершенствования необходимы технологии и критерии оценки текущего (сиюминутного) состояния фирменных предприятий автосервиса. И они есть. Например, в настоящее время наиболее привлекательной, по мнению авторов статьи, является балльная оценка деятельности предприятий сервисно-сбытовой сети (ПССС). Именно на ее основе легче всего выстраиваются бонусные системы премирования и депремирования предприятий со стороны автопроизводителей.

Эта оценка, как правило, балльная и находится в соответствии с принципами квалиметрии и единой процедурой расчета показателей: показатель $D$ более высокого уровня получается (формула 1 в табл. 1) из показателей $D_i$ ($i = \overline{1, n_i}$) более низкого уровня по правилу "свертки" (взвешенное суммирование). При этом каждому ПССС в зависимости от полученной обобщенной оценки присваивается одна из четырех категорий (табл. 2).

Общая (интегральная) оценка укладывается в структуру, представленную на рис. 1, где светлым цветом выделены комплексные показатели, являющиеся свертками соответствующих показателей более низкого уровня, а темным — показатели, являющиеся единичными, т.е. получающимися путем непосредственного перевода с помощью квалиметрических шкал фактических значений показателей в балльные [1].

Единичные показатели (показатели самого низкого уровня) получают как расчетными, так и экспертными способами, следовательно, они могут иметь различные

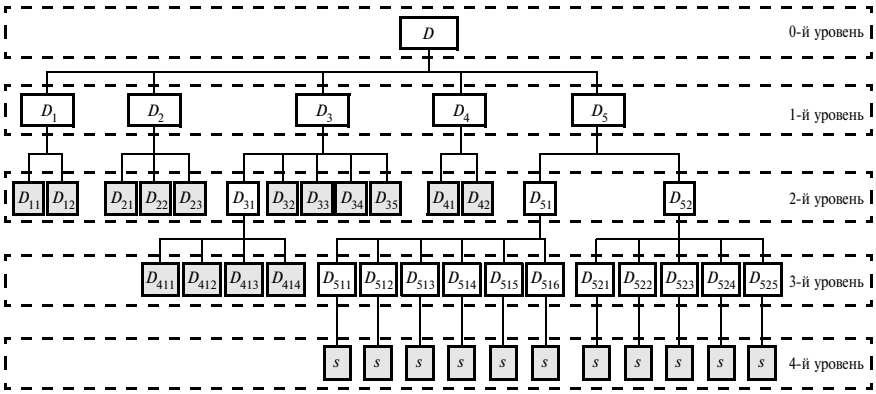



*Рис. 1. Структура обобщенной интегральной оценки*

Таблица 1

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 1 | $D = \sum_{i=1}^{n_i} \alpha_i D_i$ | $\alpha_i$ — коэффициенты весомости посещения |
| 2 | $D_1 = \frac{\sum\left(\frac{q_{\text{ТОС}-1} \times 100}{q_{\max\ \text{ТОС}-1}}\right)}{N_{\text{ТОС}-1}}$ | $q_{\text{ТОС}-1}$ — сумма баллов по $i$-му ТОС-1; $q_{\max\text{ТОС}-1}$ — максимальная сумма баллов по $i$-му ТОС-1; $N_{\text{ТОС}-1}$ — число ТОС-1 по предприятию за учетный период |
| 3 | $D_2 = \frac{K_{(1)} \times 100}{K}$ | $K_{(1)}$ — число выполненных пунктов КПВ; $K$ — общее число пунктов КПВ |
| 4 | $D_3 = \frac{\sum\left(\frac{q_{\text{ТОС}-2} \times 100}{q_{\max\ \text{ТОС}-2}}\right)}{N_{\text{ТОС}-2}}$ | $q_{\text{ТОС}-2}$ — сумма баллов по талону обратной связи ТОС-2; $q_{\max\text{ТОС}-2}$ — максимальная сумма баллов по этому талону; $N_{\text{ТОС}-2}$ — число талонов ТОС-2 по предприятию за учетный период |
| 5 | $D_4 = \frac{K_{\text{АПО}}}{O_{\text{НП}} + \Pi - O_{\text{КП}}} \times 100$ | $K_{\text{АПО}}$ — число оформленных актов предпродажной подготовки по данному ПССС; $O_{\text{НП}}$ — остаток автомобилей на складах на начало учетного периода; $O_{\text{КП}}$ — то же на конец учетного периода; $\Pi$ — поступление автомобилей в течение периода |
| 6 | $D_5 = \frac{K_{\text{АТО}}}{TO \times C_{\text{к}} \times M \times K_c} \times 100$ | $K_{\text{АТО}}$ — число актов проведения РТО на ПССС за учетный период; $TO$ — число регламентного ТО в течении гарантийного периода; $C_{\text{к}}$ — среднемесячное число реализованных автомобилей на ПССС; $M$ — число месяцев в периоде запроса; $K_{\text{с}}$ — коэффициент сезонности |
| 7 | $D_6 = \frac{Z_{21_1}}{Z_{21_2}} \times 100$ | $Z_{21_1}$ — оборотные активы, принимаемые в расчет при оценке структуры баланса $i$-го ПССС и состоящие из запасов, НДС по приобретенным ценностям, дебиторской задолженности, платежи по которой ожидаются в течение 12 месяцев, краткосрочных финансовых вложений и денежных средств; $Z_{21_2}$ — краткосрочные долговые обязательства $i$-го ПССС (итог раздела баланса "Краткосрочные обязательства" за вычетом показателей "Доходы будущих периодов" и "Резервы предстоящих расходов") |
| 8 | $D_7 = \frac{Z_{22_1}}{Z_{22_2}} \times 100$ | $Z_{22_1}$ — собственный оборотный капитал $i$-го ПССС на конец рассматриваемого периода; $Z_{22_2}$ — сумма оборотных активов $i$-го ПССС |
| 9 | $D_8 = \frac{C_{\text{общ}}}{C_{\text{опл}}} \times 100$ | $C_{\text{общ}}$ — общее число автомобилей по выделенной ПССС квоте; $C_{\text{опл}}$ — число автомобилей, оплаченных ПССС |

единицы измерения и размерность. Поэтому их нужно приводить к сопоставимому виду путем их перевода с помощью квалиметрических шкал, которые должны быть непрерывными и удовлетворять условию: наилучшее значение показателя соответствует 100 баллам, в балльные показатели (с диапазоном изменения от 0 до 100 баллов). Причем здесь возможны следующие стратегии перевода в баллы: "чем больше, тем лучше", что означает: увеличение значения показателя влечет повышение его балльной оценки (рис. 2); "чем меньше, тем лучше": уменьшение значения показателя влечет увеличение его балльной оценки (рис. 3); "отклонение от среднего": 100 баллам соответствует значение показателя, равное среднему, и отклонение значения показателя от среднего влечет уменьшение его балльной оценки (рис. 4).

Изменять шкалу перевода в балльную оценку имеет смысл только в сторону ужесточения значений показателя, т.е. если его целевое значение изменилось в сторону улучшения качества. Таким образом, смену возрастающей шкалы стоит осуществлять только при увеличении $\bar{x}$ в текущем периоде по сравнению с предыдущим, а смену убывающей шкалы, наоборот, при уменьшении $\bar{x}$. Смену шкалы "отклонение от среднего" следует проводить только при уменьшении расстояния между $\bar{x}$ и $x_0$.

Под полнотой оценки любого обобщенного показателя, как известно, понимается сумма весовых коэффициентов единичных показателей, фактически используемых для его вычисления. Так, если показатель вычисляется по схеме, приведенной на рис. 5 и при этом фактически использовались показатели, выделенные затемнением, то полнота оценки равна 65 % (при наличии всех единичных показателей полнота оценки — 100 %).

Таблица 2

| Категория ПССС | Интегральные оценки | Граничные значения интегральной оценки |
|---|---|---|
| A | Отличные | $D \geqslant 90$ |
| B | Надежные | $80 \leqslant D < 90$ |
| C | Ненадежные | $50 \leqslant D < 80$ |
| D | Неудовлетворительные | $D < 50$ |

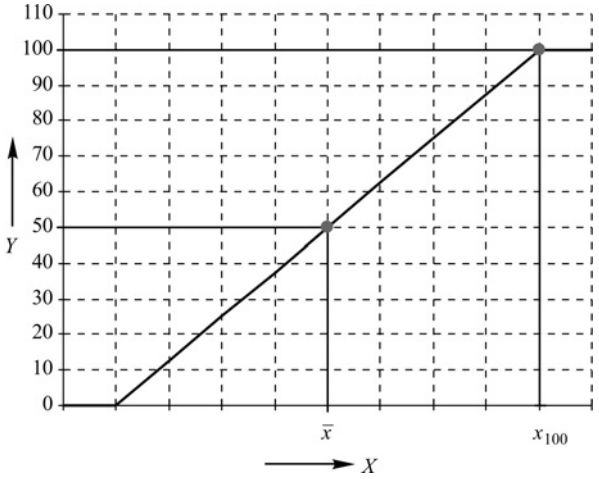



*Рис. 2. Стратегия балльной оценки "чем больше, тем лучше"*

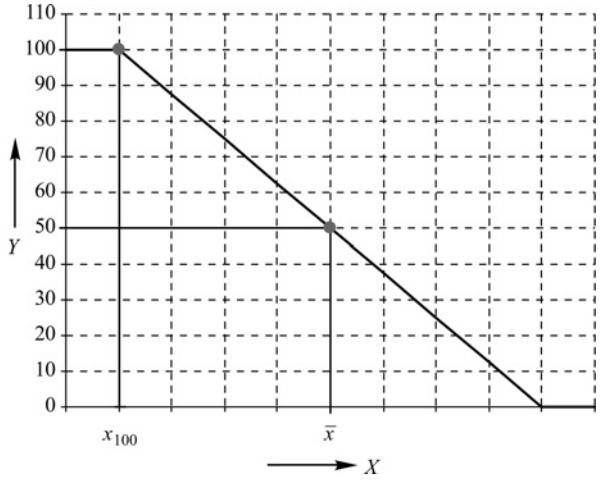



*Рис. 3. Стратегия балльной оценки "чем меньше, тем лучше"*

Таким образом, обобщенный показатель какого-либо объекта считается полным только в случае наличия всех единичных показателей, входящих в его состав.

Современное состояние развития системы балльной оценки ПССС, на взгляд авторов, определяется необходимостью измерения критериев, представленных в табл. 3. При этом требуется учитывать, что сама система оценки должна быть настолько гибкой, чтобы в случае утраты актуальности критериев исходного перечня можно было бы перейти к другим показателям.

Прежде чем перейти к раскрытию показателей, определяющих обобщенную балльную оценку, необходимо отметить, что наиболее эффективный способ реализации системы измерения — автоматизация процесса на базе одной или нескольких корпоративных информационных систем. Это позволяет повысить оперативность расчета оценок, а также обеспечивает их объективность.

Вторым важным аспектом, который следует упомянуть, является возможная простота расчета показателей. Опыт авторов в реализации балльных оценок деятельности поставщиков автокомпонентов и услуг показывает, что в первом случае благодаря наличию аналитических подразделений в структуре дирекций по качеству предприятий-производителей автокомпонентов даже сложные системы балльной оценки работают адекватно. В случае же автосервиса на первый план выходит задача максимального упрощения системы оценки, что связано с отсутствием на предприятиях таких служб, и, соответственно, нет возможности для подробной расшифровки сложных показателей. В то же время автопроизводители зачастую в системе балльных оценок используют еще и дополнительные их системы (например, связанные с качеством выполнения гарантийных обязательств).

Удовлетворенность $D_1$ потребителей автомобилей описывается средним баллом (по шкале от 0 до 100 баллов) по результатам анкетирования покупателей по талонам обратной связи (ТОС-1), осуществивших покупку на ПССС. Ее расчет выполняется по формуле № 2.

Оценка $D_2$ соответствия стандартам и требованиям торговых и производственных мощностей, оборудования, видов услуг и фирменного стиля предприятий осуществляется по данным аудиторских проверок ПССС на основе контрольного перечня вопросов (КПВ). Для ее расчета предназначена формула № 3.

Оценка $D_3$ уровня сервисного обслуживания определяется как средний балл (по шкале от 0 до 100 баллов) по результатам анкетирования покупателей на данном ПССС по талону обратной связи в сервисе (ТОС-2). Рассчитывается она по формуле № 4.

Оценку $D_4$ качества оформленных актов предпродажной подготовки (ППП) дает формула № 5, оценку $D_6$ качества оформления актов РТО — по формуле № 6, оценку $D_6$ текущей ликвидности — по формуле № 7,

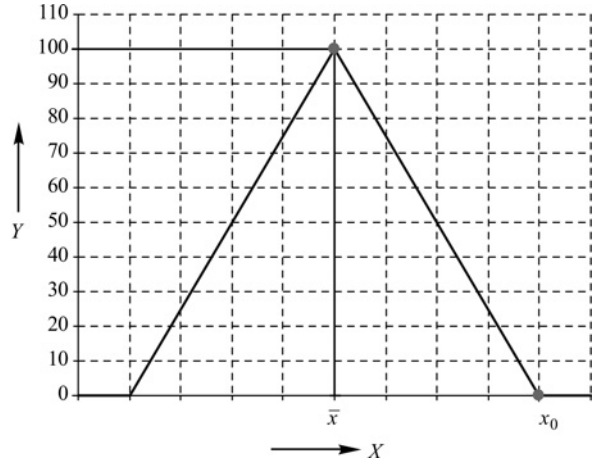



*Рис. 4. Стратегия балльной оценки "отклонение от среднего"*

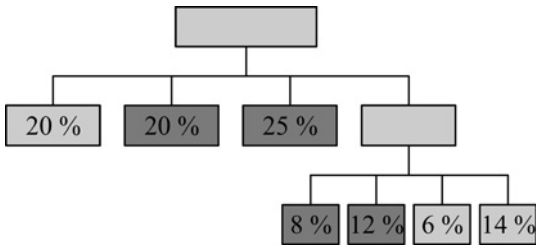



*Рис. 5. К расчету обобщенной балльной оценки*

Таблица 3

| Показатель | Назначение показателя | Периодичность ввода информации |
|---|---|---|
| $D_1$ | Оценка удовлетворенности покупателей автомобилей | Ежемесячно |
| $D_2$ | Оценка соответствия стандартам и требованиям ОАО "АВТОВАЗ" | |
| $D_3$ | Оценка уровня сервисного обслуживания | |
| $D_4$ | Оценка качества оформления актов выполнения ППП | |
| $D_5$ | Оценка качества оформления актов выполнения РТО | |
| $D_6$ | Оценка текущей ликвидности | Ежеквартально |
| $D_7$ | Оценка обеспеченности собственными средствами | |
| $D_8$ | Полнота оплаты выделенных на поставку автомобилей | Ежемесячно |

оценку $D_7$ обеспечения собственными средствами — по формуле № 8, а полноту $D_8$ оплаты выделенных на поставку автомобилей — по формуле № 9.

Значимость любого из показателей определяется его весовым коэффициентом, который назначается экспертным путем. При этом опрос экспертов ведется индивидуальным методом — каждый эксперт получает бланк опроса, подготовленный рабочей группой, и заполняет его оценками показателей по десятибалльной шкале. Содержание бланков заносится в базу данных и обрабатывается. Если в результате обработки выясняется несогласованность оценок экспертов по некоторому бланку, проводится обсуждение его содержания, повторное заполнение и обработка.

По оценкам экспертов вычисляется средняя оценка значимости показателя и его весовой коэффициент (вес). Затем для каждого эксперта и каждого показателя рассчитываются отклонения оценки эксперта от среднего, находится сумма $d$ этих отклонений, для которых определяется среднее, среднеквадратичное отклонение и коэффициент $Var$ вариации. Если этот коэффициент не превышает 0,30, значения весовых коэффициентов утверждаются экспертной группой, а если больше 0,30, то из рассмотрения удаляются оценки эксперта с наибольшим отклонением $d$ и коэффициент вариации пересчитывается.

Реализация системы балльной оценки деятельности ПССС обеспечивает предприятию-изготовителю автомобильной техники возможность повышения эффективности управления собственной фирменной сетью. Потому что такая оценка включает расчет ключевых показателей, отражающих основные направления деятельности предприятий и имеющих высокий уровень актуальности.

В дополнение к основной системе рассмотренной балльной оценки ПССС, автопроизводители, как упоминалось выше, часто разрабатывают специализированные системы оценок. Но такое дополнение картины не меняет: общая структура оценки в данном случае физически дублирует рассмотренную на рис. 1 и 5 с той лишь разницей, что обобщенная оценка показателей ориентирована только на какой-то конкретный показатель. Например, на гарантийные нормативы.

**Литература**

1. Годлевский В.Е., Юнак Г.Л. Менеджмент качества в автомобилестроении / Под ред. Васильчука А.В. — Самара: ООО "Офорт"; ЗАО "Академический инжиниринговый центр", 2005. — 628 с.

УДК 33

# ФОРСАЙТ — ИНСТРУМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СЕКТОРЕ

Кандидаты экон. наук **О.И. КАРАСЕВ** и **К.О. ВИШНЕВСКИЙ**, **Н.Н. ВЕСЕЛИТСКАЯ**, **А.А. ЕДЕЛЬКИНА**, **М.А. КЛУБОВА**

МГУ имени М.В. Ломоносова, НИУ "Высшая школа экономики" (495. 953-88-86)

*Описываются принципы проведения Форсайт-исследований, анализируются ключевые методы построения прогнозов, раскрываются способы их эффективного применения. Дается характеристика основных результатов Форсайта-сценариев, приоритетов научно-технологического развития, дорожных карт их реализации.*

***Ключевые слова:*** *Форсайт, сценарии, приоритеты научно-технологического развития, дорожные карты.*

**Karasev O.I., Vishnevsky K.O., Veselitskaia N.N., Edelkina A.A., Klubova M.A.**

**FORESIGHT — INSTRUMENT TO DEFINE S&T AND INNOVATION DEVELOPMENT PRIORITIES FOR TRANSPORT SECTOR**

*The principles of foresight are studied, key methods of forecasting are examined and approaches to their effective application. The key results of the Foresight are studied scenarios, S & T development priorities and roadmaps for their implementation are analyzed.*

***Keywords:*** *Foresight, scenarios, S&T development priorities, roadmaps.*

В настоящее время, по вполне понятным причинам, все большую популярность и актуальность приобретают прогнозные исследования, нацеленные на выявление перспективных направлений научно-технологического и инновационного развития отраслей нашей (и не только) национальной экономики. Более того, в последние два десятилетия перемены в современном научно-технологическом и инновационном пространстве столь стремительны, что обеспечить устойчивое развитие экономики без комплексного подхода, который предусматривает разработку научно-технических программ, долгосрочных стратегий и конкретных мер государственной политики, формируемой на основе регулярных мониторинговых и прогнозных исследований, генерирующих знание о возможных сценариях развития, не только в краткосрочной, но и отдаленной перспективе, просто невозможно.

Этого требуют условия нарастающей конкуренции на глобальных рынках. Однако совершенно очевидно, что проводить исследования одновременно по полному спектру

научных направлений тоже невозможно, поэтому для успешного развития экономики необходимо адекватно и своевременно выделять приоритеты инновационного развития. И инструментом, позволяющим это сделать, стала система Форсайт с ее "дорожными картами". Первый из крупномасштабных Форсайт-проектов был реализован в Японии (1971 г.) по методу Дельфи, основанному на серии опросов одних и тех же респондентов [1].

Система Форсайт представляет собой "систему методов экспертной оценки стратегических перспектив инновационного развития, выявления технологических прорывов, которые способны оказать максимальное воздействие на экономику и общество в средне- и долгосрочной перспективе" [2]. Ее основная особенность — междисциплинарность, т.е. интеграция методов, относящихся к самым разным областям знаний — социологии, математики, статистики и т.п. И к любым областям практической деятельности. В том числе и к сфере развития транспортных систем. Причем в последнем случае Форсайт-исследования получили широкое распространение как в развитых, так и в развивающихся странах. Более того, транспортной теме посвящены Форсайты не только национального, но и международного уровня, причем перспектива выполненного с их помощью прогноза охватывает несколько десятков лет. При этом инициаторами проекта выступают, как правило, правительственные организации, а сами проекты выполняются специалистами НИИ и вузов с обязательным участием представителей экспертного сообщества.

И еще одно важное обстоятельство: в большинстве стран перспективы развития промышленности, в том числе и автомобильной, рассматриваются в контексте социально-экономических и научно-технологических приоритетов государственной политики с учетом обеспечения национальной безопасности. И Россия — не исключение. Сегодня результаты Форсайт-исследований активно используются при формировании научно-технологических приоритетов, утверждаемых в документах стратегического характера, в частности, в государственных программах. Например, в программах "Развитие судостроения на 2013—2030 гг." и "Развитие авиационной промышленности на 2013—2025 гг." и др. Кроме того, в соответствии с Указом Президента от 7 мая 2012 г. № 596 "О долгосрочной государственной экономической политике" в России формируется система технологического прогнозирования, функциональными элементами которой являются: долгосрочные прогнозы, содержащие систему научно обоснованных представлений о научно-технологическом развитии страны и ее субъектов в долгосрочной перспективе; приоритетные направления развития науки, технологий, техники, а также перечень критических технологий, задающих ориентиры научно-технологического развития; создание Межведомственной комиссии президиума Совета при Президенте РФ по технологическому прогнозированию модернизации экономики и инновационному развитию России; перечень документов стратегического планирования, отраслевые документы стратегического планирования на систематической основе, документы стратегического планирования, которые связаны между собой в различных разрезах.

Таким образом, Форсайт сегодня и у нас становится одним из самых эффективных инструментов, применяемых при определении приоритетных направлений развития науки, техники и технологий и перечня критических технологий, а также при актуализации государственных программ научно-технологической направленности.

Форсайт-исследования предполагают интеграцию технологически (technology push) и рыночно (market pull) ориентированных подходов. При этом на основе первого из них формируется система таких элементов инновационной технологической цепочки, как научные разработки, имеющие потенциал практического применения, инновационные технологии, новые виды продуктов и услуг. На основе второго выполняется анализ спроса на инновационную продукцию и отдельные технологии, используемые при ее производстве [3].

Достоинство Форсайта состоит в том, что эта система нацелена, в отличие от других методов прогнозирования, не на определение наиболее вероятного будущего, а на формирование системы приоритетов и необходимых условий для их реализации — системы мероприятий и благоприятной институциональной среды. Это достигается за счет целенаправленной организации экспертного взаимодействия и способствует выработке таких ориентиров развития, которые разделяют ведущие специалисты в данной сфере деятельности. Поэтому Форсайт эффективен в тех случаях, когда принятие стратегических решений требует консенсуса между ключевыми организациями отрасли и взаимодействующими с ней внешними отраслями.

В ходе Форсайт-исследований в определенной последовательности используется совокупность методов (рис. 1), основными из которых являются экспертные панели, "дорожные карты", построение сценариев развития и др. Методы, основанные на фактических данных, позволяют объяснить и спрогнозировать тот или иной феномен путем анализа достоверной и документированной информации. Такие методы особенно полезны для изучения реального состояния тех или иных областей науки и технологий.

И для решения этой задачи применяются бенчмаркинг, библиометрия, патентный анализ, обработка статистической информации — при условии, что имеется достаточное количество необходимых фактических данных.

Источники информации в Форсайт-исследованиях используются в процессе дискуссий и через вовлечение всех заинтересованных сторон в процесс принятия решений. При этом обеспечивается легитимность последних. Они полезны также тем, что стимулируют налаживание контактов и связей между участниками прогноза. Наиболее популярными методами этой группы являются анализ предложений заинтересованных сторон, сценарные семинары, голосование и др.

Методы Форсайта, как и любые другие, основанные на творчестве, требуют от тех, кто ими пользуются, оригинальности мышления и воображения. Поэтому к их реализации привлекаются наиболее талантливые эксперты, которые способны выда-

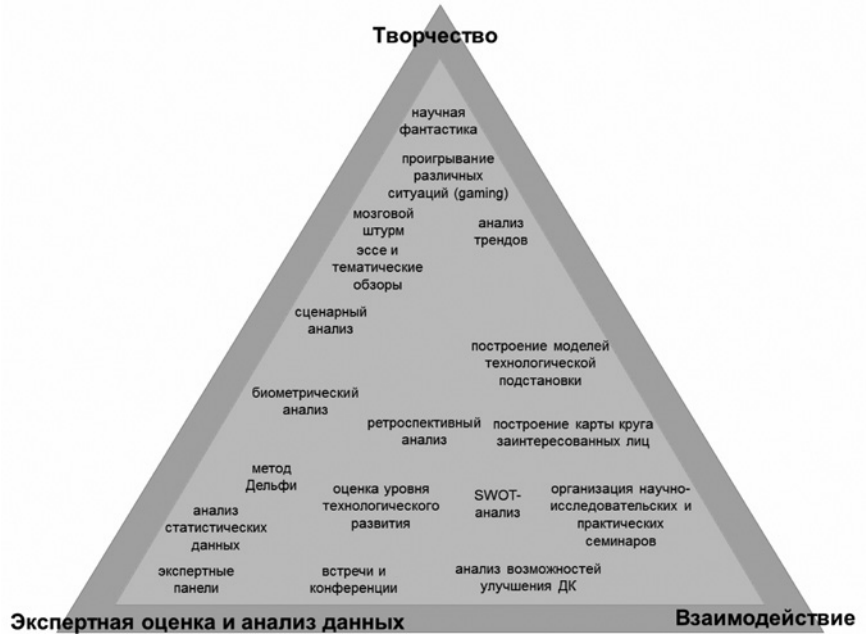



*Рис. 1. Система методов при проведении Форсайт-исследования*

вать так называемый прогноз гения, выполнять ретрополяции, эссе и пр. В связи с этим к экспертам проекта предъявляются жесткие квалификационные требования, в числе которых — наличие цитируемых публикаций в реферируемых научных журналах и соответствующих патентов; опыт работы на ведущих предприятиях и в организациях отрасли; известность в профессиональной среде, оцениваемая методом кономинации (эксперт должен быть номинирован несколькими ранее опрошенными специалистами) и др.

При проведении Форсайт-исследований важно использовать различные группы методов — комбинирование качественных и количественных подходов. При этом большую роль играют специалисты, представляющие различные области знаний.

Еще одним из достоинств Форсайт-проекта является присутствие экспертов во время всего процесса работы, взаимодействие между представителями различных научных дисциплин и областей деятельности.

Все перечисленное говорит о том, что с помощью Форсайт-исследований можно выявить ключевые факторы, способные оказать существенное влияние на развитие отрасли в долгосрочной перспективе, глобальные вызовы, тенденции, драйверы развития, связанные с этим перспективы, риски, барьеры и ограничения, варианты развития внешней среды, влияющие на отраслевую стратегию; построить сценарии развития отрасли в России и мире; оценить тенденции научно-технологического развития, определить основные центры компетенций в разных технологических областях, ключевые сегменты будущего спроса на инновационную продукцию, их динамику в долгосрочном периоде, степень привлекательности; идентифицировать конкурентные позиции продукции на внутреннем и внешнем рынках, а также научно-технологические и инновационные приоритеты развития отрасли; разработка "дорожных карт" реализации выявленных приоритетов.

Как видим, в рамках Форсайт-проектов значительное внимание уделяется приоритетам научно-технологического и инновационного развития различных видов экономической деятельности, в том числе транспортных систем. В качестве примера можно привести "Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года", утвержденный Правительством РФ в 2014 г., который включает такие приоритетные области по направлению "Транспортные и космические системы", как моделирование, прогнозирование и планирование развития транспортных систем на основе транспортно-экономического баланса; интеллектуальные транспортные системы и новые системы управления; мультимодальные транспортно-логистические системы; комплексное моделирование транспортных потоков; системы повышения экологичности и энергоэффективности транспортных средств; системы скоростного и высокоскоростного движения; перспективные транспортные средства и системы; космические системы и услуги.

Форсайт-исследования инновационного развития обычно начинаются с оценки фактического состояния дел в той или иной отрасли по пятибалльной системе:

1 — существенно ниже зарубежного уровня;

2 — немного ниже зарубежного уровня;

3 — на одном уровне с зарубежными аналогами;

4 — немного выше зарубежного уровня;

5 — существенно выше зарубежного уровня [3].

Пример такой оценки — оценки перспективности продукции гражданского судостроения России — приведен на рис. 2.

Второй пример — Форсайт развития авиационной науки и технологий. С его помощью сформулированы целевые показатели создания научно-технического задела в области развития воздушного транспорта и авиационной науки, которые использованы при разработке соответствующей государственной программы [4].

***"Дорожные карты" реализации приоритетов:*** их разработка позволяет перейти от выявления перспективных областей к формированию конкретных инновационных проектов и перечня необходимых для их реализации мероприятий.

Эти карты как метод стратегического прогнозирования и Форсайта был разработан за рубежом более 30 лет назад и впоследствии получил распространение в практике планирования на государственном и корпоративном уровнях как инструмент учета нарастающей неопределенности будущего, анализа различных возможных траекторий развития, изучения сопутствующих им новых возможностей и рисков. Первоначально область их применения ограничивалась технологическими прогнозами, однако сегод-

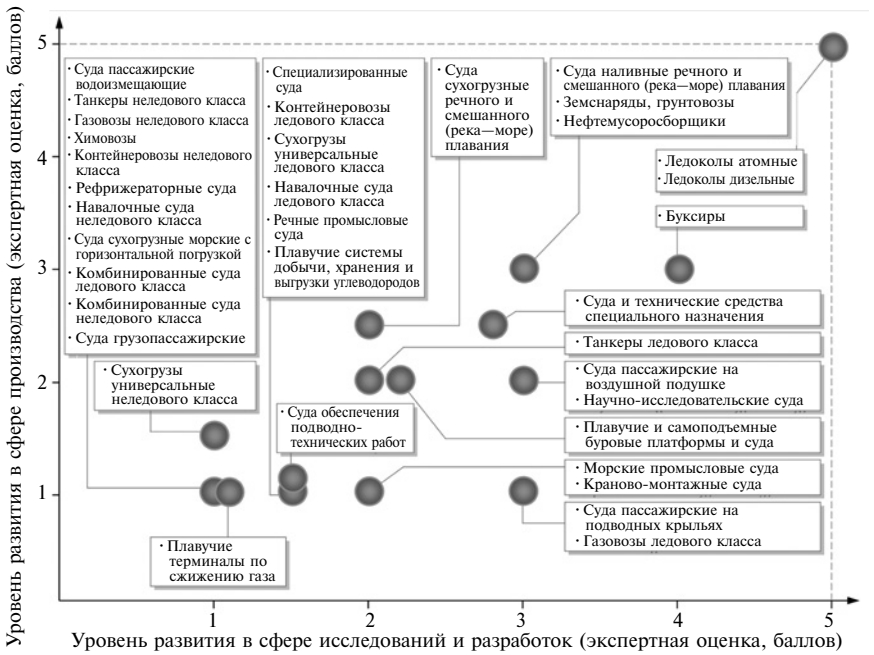



*Рис. 2. Оценка перспективности продукции гражданского судостроения России*

ня к ним все чаще обращаются при разработке мер политики в других сферах.

Необходимость расширения сферы применения "дорожных карт" в России как инструмента инновационной политики неоднократно отмечалась на государственном уровне. Так, в Послании Президента Федеральному Собранию от 12 декабря 2012 г. было сказано о необходимости "*подготовить "дорожные карты" развития новых отраслей*", к числу которых отнесены композиты и редкоземельные металлы, биотехнологии и генная инженерия, IT-технологии, новое градостроительство, инжиниринг и промышленный дизайн. Рекомендации по разработке программ инновационного развития компаний с государственным участием также говорят о необходимости применения таких карт — с одной стороны, как инструмента управления инновационной деятельностью компании, а с другой — в целях ее позиционирования в системе общенациональных и отраслевых приоритетов.

"Дорожная карта" представляет собой обобщающий документ, который отражает многоуровневую систему стратегического развития предметной области в рамках единой временной шкалы и содержит показатели экономической эффективности перспективных технологий и продуктов, обладающих высоким потенциалом спроса и привлекательными потребительскими свойствами. Она позволяет сформировать представление о траекториях научно-технологического развития отрасли, определить этапы жизненного цикла новых продуктов и технологий, выявить области их применения и связанные с ними основные эффекты. В частности, на ее базе можно сформировать стратегии развития наиболее перспективных продуктовых групп, разработать предложения по системе мер политики, обеспечивающие их реализацию.

Примером использования "дорожной карты" в транспортном секторе России может служить "карта" развития космической навигации, разработанная НИУ "Высшая школа экономики". Этот документ обобщает мнение экспертного сообщества о важнейших факторах, способных оказать существенное влияние на развитие данного сектора на долгосрочную перспективу. Он, во-первых, позволяет наглядно представить систему технологических решений, необходимых для совершенствования сигнала и создания приемных устройств, обладающих привлекательными потребительскими свойствами и приносящих значительный социально-экономический эффект; во-вторых, иллюстрирует взаимосвязи между основными технологиями, определяющими развитие предметной области, характеристиками существующих и перспективных навигационных спутниковых систем, перспективными продуктами и сегментами их рынков, в-третьих, содержит ряд элементов, каждый из которых является результатом специального исследования (технические характеристики и зоны покрытия существующими глобальными навигационными системами; преимущества и недостатки конкурирующих навигационных систем; направления технологического развития орбитальной группировки и наземного комплекса; драйверы развития навигационных систем; барьеры и ограничения развития таких систем; направления использования аппаратуры различных систем; рынки).

Российская практика прогнозных исследований подтверждает выводы зарубежных исследователей о необходимости применения Форсайта для анализа перспектив и приоритетов развития в различных областях деятельности, в том числе в транспортном секторе. Проведение таких исследований способствует обобщению представления широкого круга экспертов о путях инновационного развития отрасли, формированию их согласованного видения на уровне всех ключевых организаций, относящихся как к области исследований и разработок, так и к реальному сектору экономики.

Форсайт призван содействовать разработке конкретных рекомендаций по выбору приоритетов развития (например, выделение "точек роста") и механизмов их практической реализации с помощью "дорожных карт". При этом его эффективность будет напрямую зависеть от того, насколько основные рекомендации использованы в конкретных управленческих решениях.

**Литература**


1. Соколов А.В. Форсайт: взгляд в будущее // Форсайт. 2007. № 1.
2. Гохберг Л.М. Будущее как стратегическая задача // Форсайт. 2007. № 1.
3. Богомолова А.В., Великанова Н.П., Дехтярук Ю.Д., Дышкант Н.Ф., Еделькина А.А., Карасев О.И., Карышев И.В., Клубова М.А., Кораблева М.С. Форсайт гражданского судостроения — 2030 // Форсайт. 2014. № 2.
4. Государственная программа Российской Федерации "Развитие авиационной промышленности на 2013—2025 гг.".

## ПРОИЗВОДСТВО АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ РОССИИ В 2014 г. (По информации ОАО "АСМ-холдинг")

| Предприятие-изготовитель | Декабрь 2014 г. | Декабрь 2013 г. | При-рост, % | Январь—декабрь 2014 г. | Январь—декабрь 2013 г. | При-рост, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ* | | | | | | |
| Группа "ЗИЛ": | | | | | | |
| ЗИЛ | — | — | — | 2 | 114 | −98,2 |
| * Смоленский ААЗ | — | — | — | 1 | 38 | 2,6 |
| Группа "ГАЗ": | | | | | | |
| АЗ "ГАЗ" | 6 984 | 10 126 | −31,0 | 66 770 | 95 625 | −30,2 |
| АЗ "Урал" | 513 | 688 | −25,4 | 7 107 | 5 727 | +24,1 |
| * САЗ | 126 | 117 | +7,7 | 1 364 | 1 301 | +4,8 |
| Группа "КамАЗ": | | | | | | |
| КамАЗ | 2 987 | 4 167 | −28,3 | 38 800 | 42 882 | −9,5 |
| НефАЗ: | | | | | | |
| ** *Самосвальные установки* (в общий итог не входят) | 716 | 1 299 | −44,9 | 9 575 | 11 851 | −19,2 |
| "Мерседес-Бенц Тракс Восток" | 180 | 245 | −26,5 | 1 499 | 2 609 | −42,5 |
| "Фузо КамАЗ Тракс Рус" | 323 | 431 | −25,1 | 1 750 | 2 621 | −33,2 |
| УАЗ | 2 056 | 1 461 | +40,7 | 17 520 | 23 889 | −26,7 |
| "Соллерс-Исузу" | 282 | 132 | +113,6 | 2 347 | 1 056 | +122,3 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 542 | 1 239 | −56,3 | 5 445 | 13 678 | −60,2 |
| "БАУ-Рус Мотор Корпорэйшн" | 9 | 155 | −94,2 | 15 | 1 970 | −99,2 |
| "Автомобили и моторы Урала" | — | — | — | — | — | — |
| Брянский АЗ | 15 | 14 | +7,1 | 162 | 151 | +7,3 |
| ГК "Автотор" ("Эллада Интертрейд") | 146 | 196 | −25,5 | 2 763 | 1 205 | +129,3 |
| "Вольво Восток" | 223 | 352 | −36,6 | 1 874 | 4 017 | −53,3 |
| МЗ "Тонар" | 16 | 1 | +1500,0 | 41 | 23 | +78,3 |
| "ИВЕКО-АМТ" | 129 | 321 | −59,8 | 789 | 1 214 | −35,0 |
| ПСА "ВИС-авто" | 286 | 372 | −23,1 | 2 128 | 4 250 | −49,9 |
| "Скания-Питер" | 45 | 111 | −59,5 | 623 | 1 139 | −45,3 |
| * Другие предприятия Санкт-Петербурга | 6 | 57 | −89,5 | 52 | 146 | −64,4 |
| "Ман Трак Энд Бас Продакшн Рус" | 67 | 56 | +19,6 | 508 | 112 | +353,6 |
| "Катерпиллар Тосно" | — | 4 | — | 21 | 97 | −98,4 |
| Мценский завод "Коммаш" | — | — | — | — | — | — |
| "Комацу Мэнуфэкчуринг Рус" | 2 | 2 | 0 | 19 | 27 | −29,6 |
| НПК "Уралвагонзавод" | 1 | — | — | 11 | — | — |
| * "Бецема" | 16 | 73 | −78,1 | 436 | 598 | −27,1 |
| * Филиал "Машзавод" | — | 1 | — | 21 | 15 | +40,0 |
| * ЗТО "Камея" | 173 | 227 | −23,8 | 1 650 | 2 429 | −32,1 |
| * "Спектр авто" | 109 | 163 | −33,1 | 1 380 | 1 855 | −25,6 |
| "Чайка-НН", в том числе: | 103 | 20 | +415,0 | 637 | 785 | −28,9 |
| * *На шасси других отечественных предприятий* | 27 | — | — | 248 | 278 | −10,8 |
| * РИАТ | 98 | 143 | −31,5 | 643 | 678 | −5,2 |
| * Другие предприятия Республики Татарстан | 4 | — | — | 275 | 46 | +497,8 |
| *ЛЕГКОВЫЕ АВТОМОБИЛИ* | | | | | | |
| Группа "АвтоВАЗ": | | | | | | |
| ВАЗ | 50 091 | 27 760 | +80,4 | 442 749 | 459 268 | −3,6 |
| ОАГ (Ижевский АЗ) | 14 959 | 2 286 | +554,4 | 74 607 | 57 938 | +28,8 |
| "Лада Спорт" | 658 | 69 | +853,6 | 2 643 | 523 | +405,4 |
| ПСА "Бронто" | — | 3 | — | — | 61 | — |
| "Супер-авто" (Самарская обл.) | 147 | 582 | −74,7 | 883 | 5 773 | −84,7 |

| Предприятие-изготовитель | Декабрь 2014 г. | Декабрь 2013 г. | При-рост, % | Январь—декабрь 2014 г. | Январь—декабрь 2013 г. | При-рост, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| "GM-АвтоВАЗ" | 4 334 | 4 852 | −10,7 | 45 777 | 56 911 | −19,6 |
| ГК "Автотор" | 8 511 | 29 176 | −70,8 | 181 704 | 242 797 | −25,2 |
| "Рено Россия" ("Автофрамос") | 14 526 | 17 275 | −15,9 | 209 443 | 198 825 | +5,3 |
| ИМС (Московская обл.) | 1 907 | 2 186 | −12,8 | 17 090 | 22 131 | −22,8 |
| АЗ "ГАЗ" | 4 522 | 7 736 | −41,5 | 74 878 | 48 125 | +55,6 |
| УАЗ | 2 869 | 2 391 | +20,0 | 25 356 | 27 260 | −7,0 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 679 | 2 486 | −72,7 | 19 712 | 20 407 | −3,4 |
| "Соллерс-Набережные Челны" | 980 | — | — | 2 463 | — | — |
| Предприятия Приморского края, в том числе: | 3 708 | 5 395 | −31,3 | 67 258 | 68 081 | −1,2 |
| "Соллерс-Дальний Восток" | — | — | — | — | 2 173 | +4,1 |
| "Соллерс-Буссан" | 1 357 | 855 | +58,7 | 14 180 | 7 813 | +81,5 |
| "Мазда Соллерс Мануфэкчуринг Рус" | 2 351 | 4 540 | −48,2 | 53 078 | 58 095 | −8,6 |
| Предприятия Ростовской обл., в том числе: | — | 26 | — | 58 | 2 152 | −97,3 |
| ТагАЗ, Таганрогский филиал | — | — | — | — | 515 | — |
| "ТагАЗ Интернэшнл" | — | 26 | — | 58 | 642 | 9,0 |
| "Эйч Ти авто" | — | — | — | — | 995 | — |
| АК "Дервейс" | 1 300 | 5 226 | −75,1 | 25 597 | 49 725 | −48,5 |
| "Чеченавто" | — | 176 | — | 82 | 793 | −89,7 |
| "Форд Мотор компани" | 1 149 | 1 113 | +3,2 | 27 281 | 68 893 | −60,4 |
| Предприятия Санкт-Петербурга ("Дженерал Моторз Авто", "Тойота Мотор", "Хендэ Мотор Мануфэкчуринг Рус", "Ниссан Мэнуфэкчуринг Рус" | 31 656 | 37 056 | −85,4 | 360 636 | 395 586 | −8,8 |
| "Фольксваген груп Рус" (Калуга) | 11 352 | 9 289 | +22,2 | 127 825 | 156 420 | −18,3 |
| "ПСМА Рус" (Калуга) | 2 056 | 3 783 | −45,7 | 45 203 | 45 908 | −1,5 |
| *АВТОБУСЫ* | | | | | | |
| Группа "КамАЗ": | | | | | | |
| НефАЗ, в том числе: | 42 | 79 | −46,8 | 583 | 652 | −10,6 |
| * *вахтовые автобусы* | 1 | — | — | 1 | 2 | 50,0 |
| "КамАЗ-Марко" | 8 | 8 | 0 | 111 | 71 | +56,3 |
| Группа "ГАЗ": | | | | | | |
| АЗ "ГАЗ" | 916 | 848 | +8,0 | 9 895 | 12 148 | −18,5 |
| АЗ "Урал" | 14 | 50 | −72,0 | 259 | 378 | −31,5 |
| Компания "Русские автобусы", в том числе: | 1 205 | 1 188 | +1,4 | 9 186 | 12 760 | −28,0 |
| ПАЗ | 1 055 | 821 | +28,5 | 7 442 | 9 850 | −24,4 |
| ЛиАЗ | 100 | 270 | −63,0 | 1 299 | 1 623 | −20,0 |
| ГолАЗ | — | 57 | — | — | 832 | — |
| КАвЗ | 50 | 40 | +25,0 | 445 | 455 | −2,2 |
| "Тулабус" | 1 | 1 | 0 | 12 | 11 | +9,1 |
| УАЗ | 998 | 606 | +64,7 | 8 413 | 11 294 | −25,5 |
| "Форд Соллерс Елабуга" | 9 | 21 | −57,1 | 38 | 265 | −85,7 |
| "Спецтранс" | — | 5 | — | 24 | 355 | −93,2 |
| "БАУ-Рус Мотор Корпорэйшн" | — | 12 | — | 3 | 16 | −81,2 |
| "Волгобас" | 18 | 90 | −80,0 | 409 | 353 | +15,9 |
| СТ "Нижегородец" | 965 | 1 011 | −4,5 | 6 351 | 8 349 | −23,9 |
| ПКФ "Луидор" | 707 | 448 | +57,8 | 7 146 | 5 390 | +32,6 |
| "Промтех" (Нижегородская обл.) | 194 | 153 | +26,8 | 1 777 | 2 275 | −21,9 |
| "Кузбасс-авто" (Кемеровская обл.) | — | 58 | — | — | 113 | — |
| *ТРОЛЛЕЙБУСЫ* | | | | | | |
| "Тролза" | 30 | 35 | −14,3 | 130 | 399 | −67,4 |
| "Транс Альфа электро" | 4 | 12 | −66,7 | 25 | 93 | −73,1 |
| Башкирский ТЗ | — | 11 | — | — | 34 | — |
| "Сибирский троллейбус" | — | — | — | — | 4 | — |

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

УДК 629.3.021:629.4.027

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Канд. техн. наук, **В.А. ГАНЖА**,
д-р техн. наук **Ю.Н. БЕЗБОРОДОВ**, **П.В. КОВАЛЕВИЧ**
Сибирский федеральный университет (8.923. 277-35-95)

*В статье представлены основные результаты обзора конструкций современных универсальных машин с комбинированным рельсовым и пневмоколесным ходом отечественного и зарубежного производства. Описаны функциональные и технологические возможности таких машин, приведены их краткие технические характеристики.*

***Ключевые слова:*** *универсальные машины, рельсовый ход, пневмоколесный ход, железнодорожная колея, навесное рабочее оборудование.*

**Ganzha V.A., Bezborodov Yu. N., Kovalevich P.V.**
**UNIVERSAL VEHICLES**

*The article presents the main results of the review of construction of modern universal machines with combined rail and pneumatic course of domestic and foreign manufacture are presented. Describes the functional and technological capabilities of these machines, are given their brief technical characteristics.*

***Keywords:*** *universal machines, the movement on the railway, pneumatic stroke, railway track, mounted work equipment.*

Во многих областях техники в настоящее время сформировалось такое направление совершенствования конструкций машин, как совмещение в одной технической системе функций нескольких, различных по назначению, устройств. Так, для нужд предприятий агропромышленного комплекса разрабатываются и производятся тракторомобили, автотракторы и универсальные энергосредства, а для работы на железной дороге выпускаются машины с комбинированным рельсовым и пневмоколесным ходом — локомобили, трэкмобили, локотракторы и др. Данное направление весьма перспективно, так как универсальная машина обеспечивает выполнение ряда технологических операций, обычно выполняемых несколькими спецмашинами соответствующего назначения. При этом высвобождается несколько единиц подвижного состава спецмашин, совершенствуется технологическая схема работ, снижается трудоемкость производственных операций, сокращаются эксплуатационные затраты и суммарное время воздействия работающих машин на окружающую среду и человека.

Современный **локомобиль** (табл. 1) — это транспортное средство, предназначенное для движения как по безрельсовым дорогам, так и по железнодорожным путям. Ведущим предприятием в создании таких машин сегодня, несомненно, является компания "Мерседес-Бенц", производящая локомобили на базе полноприводных грузовых автомобилей "Унимог".

Комбинированный ход локомобиля U1400 4×4 427.10 (рис. 1) обеспечивается использованием дополнительных подъемных осей со специальными железнодорожными колесами, выполняющих направляющие и удерживающие функции на рельсовой колее [1]. Привод на рельсы осуществляется через пневматические резиновые колеса базового шасси. Заметим, значения коэффициента трения резины о сталь существенно выше значений коэффициента трения стали о сталь, что позволяет машине развивать тяговые и тормозные усилия, сопоставимые с усилиями, развиваемыми маневровым локомотивом среднего класса. Для постановки локомобиля на рельсы направляющие роликовые держате-

Таблица 1

| Параметр | Локомобили | | | |
|---|---|---|---|---|
| | "Унимог U1400 4×4 427.10" | "Беларус" МУ-466 | ТМВ-2 | МАРТ-3 |
| Двигатель | OM 904 LA | Д-245 2S2 | TCD 2013 L04 2V | CAT 3126 |
| Рабочий объем, л | 4,2 | — | — | — |
| Мощность, кВт/ л.с. | 170/231 | 90/122 (ном.) | 121/165 (ном.) | 220/300 |
| Коробка передач | — | Механическая | — | "Аллисон серии 3000" |
| Число передач вперед/назад | 8/6 | 14/4 | — | — |
| Тяговое усилие, кН | — | 20 | 20 (ном.), 32 (макс) | 50 (с 5 т балласта) |
| Нагрузка на переднюю ось, кг | 6700 | — | — | 5300 |
| Нагрузка на заднюю ось, кг, не более | 7000 | — | — | 16000 (задняя тележка) |
| Колесная формула | 4×4 | 4×4 | 4×4 | 6×4 |
| Грузоподъемность, кг, не более | — | 1500 | 2000 | 10900 |
| Масса эксплуатационная, кг, не более | 11 990 | 8500 | 9000 ± 250 | 10400 (борт. платформа) |
| База шасси, мм | 2650 | 2684 | 3200 ± 10 | 3525 (+1400) |
| Габаритные размеры, мм:<br>длина<br>ширина<br>высота | <br>4470<br>2100<br>2620 | <br>6500<br>2400<br>3000 | <br>7100 ± 50<br>2445 ± 50<br>3415 ± 50 | <br>8000<br>2500<br>— |

*Рис. 1. Локомобиль "Унимог U1400 4×4 427.10" в работе на железнодорожной колее*

*Рис. 2. Универсальная машина "Беларус" МУ-466*

ли посредством гидропривода переводятся из транспортного положения в рабочее. Наиболее удобное место для выполнения данной операции — участок железнодорожного переезда длиной около пяти метров.

В случае отсутствия железнодорожного переезда локомобиль может быть перемещен с земли на рельсы с помощью подъемно-поворотного устройства. Конструкция данного локомобиля обеспечивает установку и привод (гидравлический или пневматический) различного по назначению навесного рабочего оборудования: крановой установки, плужного или шнекороторного снегоочистителя, ротационной щетки, фронтального манипулятора, лебедок и др. Для работы в составе с железнодорожными вагонами машина оснащена сцепными устройствами СА-3 спереди и сзади.

Работают в этой специфической нише и другие фирмы. Так, расширению области применения машин ПО "Минский тракторный завод" способствовала разработка этим предприятием новой универсальной машины "Беларус" МУ-466 (рис. 2), предназначенной для использования в качестве тягового технического средства при выполнении маневровых работ на железнодорожных путях, а также для уборки автомобильных дорог и железнодорожного полотна [2]. В зависимости от характера планируемых работ машина может передвигаться как по автомобильной дороге с твердым покрытием, так и по железнодорожным путям с шириной колеи 1520 мм, неся на себе при этом соответствующее силовое или уборочное навесное оборудование. Для работы в составе с железнодорожными вагонами машина оснащена сцепными устройствами СА-3 спереди и сзади и дополнительной световой железнодорожной сигнализацией. Максимальная допустимая прицепная масса при использовании МУ-466 в качестве тягового модуля на железнодорожной колее составляет 200 т, номинальное тяговое усилие на автомобильной дороге с твердым покрытием — 20 кН.

Научно-производственная корпорация "Уралвагонзавод" (НПК "УВЗ") на выставке "ТрансРоссия—2012" представила одну из перспективных разработок специализированных технических средств — многофункциональное транспортное средство ТМВ-2 (рис 3). Машина имеет рамную конструкцию с двумя ведущими мостами, управляемыми передними и задними колесами, а также, передними и задними направляющими роликовыми держателями для установки машины на железнодорожную колею [3].

При работе на рельсовом ходу ТМВ-2 может использоваться как тяговый модуль для перемещения вагонов и выполнения маневровых и поездных работ на территории предприятий, имеющих железнодорожные пути, в качестве транспортного средства для оперативной доставки спецоборудования к местам проведения аварийно-восстановительных или ремонтных работ на железнодорожных путях и переездах, а также в качестве силового агрегата с отбором мощности для привода спецоборудования.

При работе на пневмоколесном ходу ТМВ-2 может использоваться для транспортировки грузов на грузовой платформе или прицепе по автодорогам. Конструкция шасси ТМВ-2 обеспечивает установку и привод (гидравлический или пневматический) различного по назначению силового и уборочного навесного рабочего оборудования, что позволяет использовать машину для выполнения работ по очистке производственных территорий и междупутий от снега, грязи и мусора, выполнения погрузочно-разгрузочных операций, а также работ по обслуживанию мостовых и тоннельных сооружений как автомобильных, так железнодорожных.

Миасским заводом специализированных автомобилей выпускается семейство локомобилей на шасси большегрузных автомобилей "Урал", КамАЗ, ЗИЛ под маркой МАРТ — машина автомобильная рельсовая технологическая [4]. Шасси локомобиля оснащается оборудованием для движения по автомобильным дорогам и железнодорожным путям с шириной колеи

*Рис. 3. Многофункциональное транспортное средство ТМВ-2*

*Рис. 4. Локомобиль МАРТ-3*

1520 мм. Оборудование для движения по железной дороге включает в себя переднюю и заднюю тележки для удержания на рельсах, гидравлическую систему, электрогидравлическую систему управления рельсовым ходом. Локомобиль МАРТ устанавливается на рельсы на любом железнодорожном переезде или подходящей площадке с углубленными рельсовыми путями. При помощи гидравлической системы передние и задние тележки опускаются на рельсы, при этом передний мост приподнимается над уровнем опорной поверхности рельсов. Тяговое усилие на рельсы передается только от задних ведущих колес. При движении по автомобильной дороге удерживающие тележки подняты и зафиксированы в транспортном положении. Расстояние перевозки грузов локомобилем с установленным оборудованием рельсового хода ограничено (не более 100 км) ввиду повышенной нагрузки на подвеску базового автомобиля. При необходимости, оборудование рельсового хода может быть демонтировано. Время демонтажных работ составляет не более двух часов. После чего машина эксплуатируется на пневмоколесном ходу как полноценный грузовой автомобиль.

Локомобиль МАРТ-1 предназначен для выполнения аварийных, снегоуборочных, технологических работ на внутренних железнодорожных путях крупных промышленных предприятий и ведомственных железных дорогах. Буксировка вагонов локомобилем данной модификации не предусмотрена. Конструкцией локомобиля МАРТ-1 обеспечивается установка следующего оборудования: фургон с комплектом слесарного и гидравлического инструмента, электросварочным и газопламенным оборудованием; фургон с грузовым отсеком и гидроманипулятором для обеспечения ремонтных работ на путевых участках или расположенных вдоль путей объектах; снегоочистительное оборудование — передний и боковые отвалы, щетки, пневматическое оборудование для очистки стрелочных механизмов; бортовая платформа для перевозки грузов по железнодорожным путям; изолированная подъемно-поворотная площадка для работы с контактной электросетью; прочее навесное оборудование.

Локомобиль МАРТ-2 предназначен для размещения спецоборудования и буксировки подвижных составов общей массой до 300 т по внутренним железнодорожным путям предприятий и ведомственным железным дорогам и оснащен комплектом оборудования для буксировки вагонов.

Локомобиль МАРТ-3 (рис. 4) предназначен для транспортировки железнодорожных составов полной массой до 1000 т. При этом сохраняется возможность установки спецоборудования, перечисленного выше. Машина построена на шасси автомобиля "Урал-55571" с доработанной и усиленной рамой, модернизированными ведущими мостами, комплектом тележек для перемещения по рельсам, оборудованием для буксировки вагонов, а также железнодорожным сигнальным оборудованием. Ведущие мосты локомобиля оснащены блокировкой межколесных дифференциалов. Увеличение сцепного веса машины обеспечивается размещением на платформе балластного груза.

Особую категорию универсальных транспортных средств с комбинированным ходом представляют **трэкмобили** — самодвижущиеся машины для перемещения вагонов по железной дороге (рис. 5).

Главная отличительная особенность машин этой группы по сравнению с машинами, описанными выше, заключается в том, что ведущими являются колеса рельсового хода. При движении машины по рельсам пневматические колеса пассивны. В случае движения по дороге трэкмобиль устанавливается на пневматические колеса, а привод машины осуществляется за счет зацепления рельефных фигурных выступов специальных барабанов, установленных на ступицах железнодорожных колес передней оси с соответствующими фигурными углублениями на беговых дорожках протектора пневматических шин (рис. 6).

*Рис. 5. Трэкмобиль "Титан"*

*Рис. 6. Приводной барабан на ступице колеса рельсового хода трэкмобиля*

*Рис. 7. Износ шины в зоне контакта протектора с опорной поверхностью рельса под воздействием сжимающих и сдвиговых напряжений*

Приоритет колесам железнодорожного хода отдан по следующим причинам. Стальные колеса более долговечны, чем пневматические шины, не подвержены проколам и порезам, имеют существенно меньшее сопротивление качению, обеспечивают прохождение машиной стрелочных переводов, не создавая помех их работе.

Конструкцией шины предусмотрено распределение нагрузки, приходящейся на нее, по всей ширине беговой дорожки протектора в рамках пятна контакта шины с опорной поверхностью. В случае же взаимодействия шины с опорной поверхностью рельса площадь пятна контакта существенно уменьшается и ограничивается шириной рельса, а удельная нагрузка, приходящаяся на единицу площади пятна контакта, существенно возрастает. При этом шина испытывает значительные деформации, не предусмотренные ее конструкцией. Избыточная деформация вызывает повышенную нагрузку на материал боковин и протектора шины, ее каркаса и бреккера, не характерную для шины, работающей на дорожном покрытии. При передаче крутящего момента от шины на опорную поверхность рельса материал сильно деформированной шины под воздействием сжимающих и сдвиговых напряжений, а также сил трения резины о сталь быстро нагревается до критических значений и разрушается (рис. 7).

Конструкция трэкмобиля обеспечивает возможность увеличения сцепного веса тягового модуля за счет массы первого буксируемого вагона посредством специальной гидросистемы. Это позволяет отказаться от использования балластного груза и исключить непроизводительные расходы топлива как на рельсовом ходу, так и на пневмоколесном, продлить ресурс машины.

Для предотвращения буксования на трэкмобилях установлены восемь песочных форсунок — по две у каждого колеса спереди и сзади.

В настоящее время американская компания "Трак-мобиль LLC" производит мобильные тяговые агрегаты трех моделей: "Викинг", "Геркулес" и "Титан", а также ряд модификаций на их базе: малогабаритные машины для работы в метрополитене; машины с усиленной теплоизоляцией и возможностью размещения балластного груза для работы на предприятиях сталелитейной промышленности; машины с различной колеей для работы в странах с соответствующими типами железных дорог; машины с различными типами сцепных устройств (в частности, для работы в России трэкмобили оснащаются сцепными устройствами СА-3). Основные технические характеристики базовых моделей трэкмобилей представлены в табл. 2.

Многообразие современных машин комбинированного хода достаточно велико и не ограничивается при-

Таблица 2

| Параметр | Трэкмобили | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | "Викинг" | | "Геркулес" | | "Титан" | |
| Масса, кг | 15585 | | 16202 | | 23065 | |
| Двигатель | "Камминз" QSB-4.5 с турбонаддувом | | "Камминз" QSB-6.7 с турбонаддувом | | "Камминз" QSB-6.7 с турбонаддувом | |
| Мощность, кВт/л.с. | 97/130 | | 119/160 | | 194/260 | |
| Максимальное тяговое усилие, кгс | 11149 | | 12006 | | 13431 | |
| Скорость, км/ч, при движении на: | Рельсовый ход | Пневмо-колесный ход | Рельсовый ход | Пневмо-колесный ход | Рельсовый ход | Пневмо-колесный ход |
| 1-й передаче | 3,9 | 2,4 | 3,9 | 2,4 | 3,2 | 1,6 |
| 2-й передаче | 6,4 | 4,0 | 6,4 | 4,0 | 6,4 | 3,2 |
| 3-й передаче | 12,9 | 8,2 | 12,9 | 8,2 | 12,8 | 6,4 |
| 4-й передаче | 22,5 | 14,0 | 21,9 | 14,0 | 22,5 | 12,8 |
| База, мм | 3073 | 1505 | 3226 | 1661 | 3792 | 2096 |
| Дорожный просвет, мм | — | — | 102 | 133 | 102 | 133 |
| Высота, мм | 3564 | 3843 | 3850 | 3997 | 3658 | 3924 |
| Длина, мм | 5628 | | 6096 | | 6096 | |
| Ширина, мм | 3111 | | 3010 | | 3112 | |

веденными выше примерами. Так, группой компаний "Гидрема" (Дания) освоен выпуск автомобильно-рельсовых шарнирно-сочлененных самосвалов "Гидрема 912DS Rail" и одноковшовых экскаваторов "Гидрема M1600C Rail", группой компаний "Ланнен Тракторс" (Финляндия) производятся универсальные машины на базе колесных тракторов "Ланнен 8600G" и "Ланнен 8800G", оснащаемых тележками рельсового хода, продукция компании "Зефир Спа" (Италия) представлена на международном рынке спецтехники девятью моделями локотракторов серии LOC, оснащаемых дизелями различной мощности и двумя моделями серии LOC-E на электрической тяге и т.д.

Перспективность многофункциональных автомобильно-рельсовых транспортных средств обусловлена рядом их преимуществ по сравнению с традиционными тяговыми машинами железнодорожного транспорта. Это — существенное сокращение расходов на приобретение и текущее содержание таких машин, возможность их использования в качестве альтернативы локомотивному подвижному составу в случаях, когда использование последнего экономически или организационно нецелесообразно, возможность перемещения к местам проведения работ по автомобильной дороге независимо от загрузки железнодорожных путей, возможность использования различного по назначению силового и уборочного оборудования.

**Литература**


1. Уткин А.А. Не стучите колеса // Рейс. 2010. № 7. С. 86.
2. Универсальная машина "Беларус" МУ-466 // Строительные и дорожные машины. 2012. № 4. С. 67.
3. Корпорация "УВЗ" на выставке "ТрансРоссия—2012" // Строительные и дорожные машины. 2012. № 6. С. 64.
4. Универсальные транспортные средства. Локомобиль — автомобиль для работы на ж/д путях [Электронный ресурс]. — URL: http://www.automzsa.ru.
5. TRACKMOBILE®LLC. Mobile Railcar Movers [Электронный ресурс]. — URL: http://www.trackmobile.com/distributors.htm.


УДК 621.43

# ПРОЦЕССЫ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И СГОРАНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ С РАССЛОЕНИЕМ ЗАРЯДА В ЦИЛИНДРЕ

Д-р техн. наук **И.В. КУЗНЕЦОВ**, **А.М. СЫЧЕВ**
МГИУ (495. 314-27-89)

*Предлагается концепция процессов смесеобразования и сгорания расслоенного заряда в двигателе с искровым зажиганием.*

***Ключевые слова:*** *двигатель внутреннего сгорания, расслоение заряда, вихревое движение, моделирование, моторный стенд, топливная экономичность, отработавшие газы, оксид углерода, углеводороды, оксиды азота.*

**Kuznetsov I.V., Sychev A.M.**

**MIXTURE FORMATION AND COMBUSTION PROCESSES IN STRATIFIED CHARGE ENGINE**

*A strategy for mixture formation and combustion of stratified charge in spark-ignition engine is proposed.*

***Keywords:*** *internal combustion engine, stratified charge, swirl motion, modeling, tect bench, fuel economy, exhaust gases, carbon oxide, carbohydrates,nitrous oxides.*

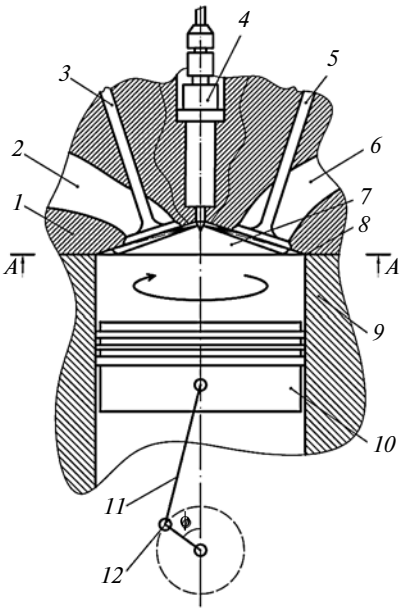
Доказано: одним из наиболее эффективных способов снижения вредных выбросов с отработавшими газами и улучшения топливной экономичности ДВС с искровым зажиганием является обеднение топливовоздушной смеси. Однако хорошо известно и то, что сжигание бедных смесей происходит довольно трудно. Поэтому для нормализации этого процесса приходится предпринимать специальные меры. В частности, расслоение заряда [1], когда основной объем цилиндра заполняется бедной смесью, а в область вокруг свечи зажигания подается смесь, по составу близкая к стехиометрической, которая легко воспламеняется и сгорает, образуя фронт пламени, распространяющийся по объему смеси бедной.

Такова идея в общем ее виде. Но для ее реализации, т.е. организации рабочего процесса с расслоением заряда в цилиндре двигателя, необходимы специальные меры, которые можно назвать концепцией процессов смесеобразования и сгорания, суть которой, по мнению авторов, должна сводиться к следующему.

В цилиндре ДВС к моменту смесеобразования создается расслоенный заряд топливовоздушной смеси, которому придается интенсивное вихревое движение. При этом богатая смесь располагается на периферии, т.е. у стенок камеры сгорания, а бедная (вплоть до чистого воздуха) сосредоточена в ее центре. Это означает, что обогащенная смесь будет воспламеняться и гореть в кольцевой зоне, расположенной вблизи стенок камеры сгорания, в которой коэффициент $\alpha$ избытка воздуха должен быть равен 0,9...1,0. При этом образовавшиеся продукты сгорания будут расширяться к оси вихря и нагревать бедную смесь или воздух, которые, в свою очередь, будут перемещаться в зону горения, куда будет поступать нагретая обогащенная смесь с периферии вихря (от стенок камеры сгорания). Такой способ позволяет сжигать в цилиндре двигателя сильно обедненные смеси, что снижает выбросы вредных веществ при сгорании.

На основе этой концепции авторы разработали конструктивную схему ДВС с искровым зажиганием и сгоранием расслоенного заряда (рис. 1). Она содержит цилиндр *9*, в котором размещен поршень *10*, соединенный через шатун *12* с кривошипом *11* коленчатого вала. В головке *1* цилиндра *9* образована камера сгорания *7*, ограниченная стенкой *8* и поршнем *10* при его положении в ВМТ. В головке цилиндра расположены тангенциальный впускной патрубок *2* и винтовой впускной патрубок *17*, а также выпускные патрубки *6* и *14*, заканчивающиеся соответственно впускными (*3* и *16*) и выпускными (*5* и *15*) клапанами. В стенку *8* камеры сгорания *7* установлены свеча зажигания *13* и форсунка *4* с сопловыми отверстиями, которые должны быть направлены на эту стенку.

На малых нагрузках свежий заряд поступает в цилиндр двигателя через тангенциальный впускной патрубок *2*, создавая интенсивное вихревое его движение вокруг оси цилиндра; на средних и больших нагрузках — еще и через винтовой впускной патрубок *17*, который выполнен так, чтобы совпало направление дви-



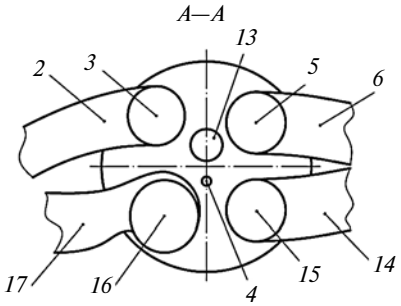




*Рис. 1. Схема ДВС с расслоением заряда:*
*1* — головка; *2* — тангенциальный впускной патрубок; *3*, *16* — впускной клапан; *4* — форсунка; *5*, *15* — выпускной клапан; *6*, *14* — выпускной патрубок; *7* — камера сгорания; *8* — стенка камеры сгорания; *9* — цилиндр; *10* — поршень; *11* — шатун; *12* — кривошип; *13* — свеча зажигания; *17* — винтовой впускной патрубок

жения заряда от обоих патрубков. Результат — увеличение скорости направленного вихревого движения заряда. (Эта схема может быть реализована только при использовании управляемого механизма газораспределения.)

На такте сжатия форсунка *4* впрыскивает топливо. Оно, попав на стенки цилиндра, образует пары, которые, соединяясь с вращающимся воздушным зарядом, создают у стенки *8* вращающийся кольцевой объем богатой топливовоздушной смеси. В центре же камеры сгорания образуется бедная смесь. Для работы на больших количествах воздушного заряда предусмотрен автомат изменения угла опережения впрыскивания топлива, который увеличивает этот угол, так как для испарения большей массы топлива на стенке *8* камеры сгорания требуется большее время.

К сожалению, реализовать в металле рассмотренную схему авторам не удалось — не позволили экономические возможности. Поэтому для оценки ее эффективности было решено провести предварительное исследование. Для этого был использован имеющийся в наличии двигатель УМЗ-414 и была доработана система впуска его четвертого цилиндра: на ней установили новую, соответствующую новой концепции головку цилиндра, а также сдвоенную выпускную трубу с двумя карбюраторами К-127.

Исследование нового рабочего процесса проводили в три этапа. На первом из них авторы смоделировали процесс смесеобразования в цилиндре двигателя в программе Ricardo VECTIS. При этом рассматривалось установившееся течение воздуха через экспериментальную головку цилиндра при его расходе, соответствующем работе ДВС на режиме максимального крутящего момента как при частичной, так и полной нагрузках. Что же касается распределения поля скоростей в цилиндре, то его характеризует рис. 2, на котором показано распределение этого поля в верхней плоскости цилиндра. Из него видно, что при частичной нагрузке в цилиндре образуются пристеночный (*1*) и промежуточный (*2*) вихри, а при полной нагрузке — центральный вихрь *3*. Правда, следует отметить, что при частичной нагрузке двигателя энергии потока недостаточно для распределения богатой смеси по всему периметру цилиндра, тогда как при полной нагрузке распределение богатой смеси по цилиндру точно соответствует разработанной концепции.

Второй этап — физическое моделирование с помощью безмоторной установки и метода "лазерный нож" [2]. При визуализации бедная смесь, имеющая меньшую плотность, имитировалась дымом, а богатая — чистым воздухом. Показал этот этап следующее.

При малых расходах $G_{в\Sigma}$ воздуха в цилиндре наблюдаются три вихря: богатой смеси, промежуточной смеси и бедной смеси. При этом первый из них образован у стенок камеры сгорания, его направление задает профиль впускного канала. В центре камеры сгорания наблюдается частичное перемешивание бедной и богатой смесей (воздуха и дыма) с образованием вихря, направленного в противоположную сторону от первого вихря. Под впускным же клапаном образуется вихрь бедной смеси.

Все три вихря вписаны в камеру сгорания, причем под большим вытеснителем просматривается застойная зона.

Очень характерно и то, что при резкой отсечке системы впуска, т.е. на тактах сжатия и рабочего хода, вихревое движение заряда в цилиндре сохраняется. Однако есть и особенности: при подводе заряда только по "смесевому" каналу на периферию камеры сгорания движение заряда определяется тангенциальным направлением этого канала, а при подводе только по "воздушному" каналу — меняется на противоположное.

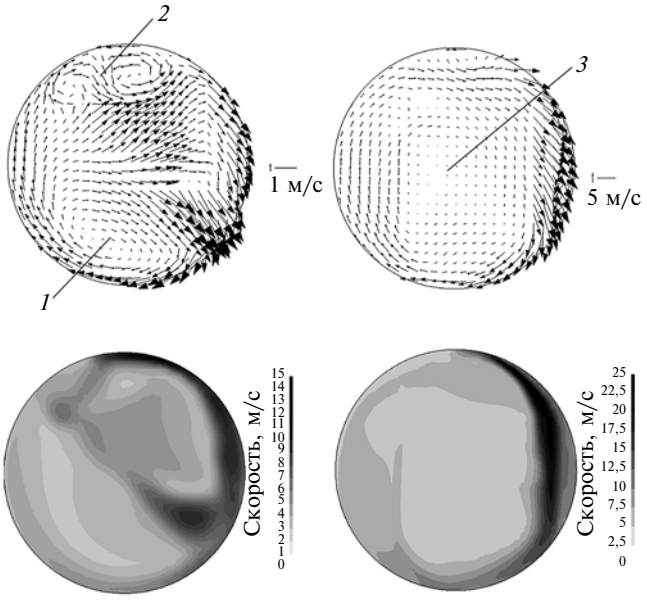



*Рис. 2. Распределение полей скоростей заряда в верхней плоскости цилиндра:*
*1* — пристеночное поле; *2* — пограничное поле; *3* — центральное поле

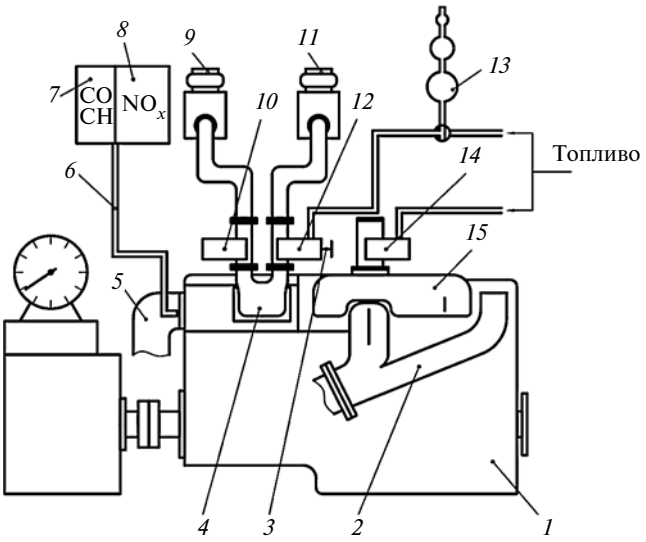



*Рис. 3. Экспериментальная установка:*

*1* — двигатель; *2* — выпускная труба вспомогательных цилиндров; *3* — регулировочная игла; *4* — впускная труба выделенного цилиндра; *5* — выпускная труба выделенного цилиндра; *6* — магистраль подвода ОГ на газоанализаторы; *7* — газоанализатор CO и CH; *8* — газоанализатор $NO_x$; *9*, *11* — счетчики расхода воздуха; *10* — карбюратор для дозирования воздуха в выделенный цилиндр; *12* — карбюратор для дозирования смеси в выделенный цилиндр; *13* — штихпробер; *14* — карбюратор вспомогательных цилиндров; *15* — впускная труба вспомогательных цилиндров

Анализ результатов физического моделирования смесеобразования позволил перейти к третьему этапу — исследованиям на моторном стенде. Для этого на базе того же полноразмерного двигателя УМЗ-414 была изготовлена экспериментальная установка с выделенным цилиндром. Она включает (рис. 3) двигатель *1*, три вспомогательных цилиндра которого работают при фиксированном, специально подобранном положении дроссельной заслонки карбюратора и углах θ опережения зажигания, рекомендованных заводом-изготовителем. Их питание осуществляется через общую впускную трубу *15*, подсоединенную к карбюратору *14* К-126. Отработавшие газы трех вспомогательных цилиндров также выпускают в общую выпускную трубу *2*. Система же питания выделенного цилиндра содержит сдвоенную впускную трубу *4*, которая соединена с двумя (*10, 12*) карбюраторами К-127. Эти карбюраторы подсоединены к расходомерам *9* и *11*, в качестве которых использованы счетчики РГ-40. При этом карбюратор *12*, предназначенный для подвода в выделенный цилиндр топливовоздушной смеси, подсоединен к штихпроберу *13* с колбами вместимостью 32, 27 и 8 см$^3$. Количество подаваемого топлива изменялось регулировочной иглой *3*. Карбюратор *10* дозировал в выделенный цилиндр чистый воздух.

Индивидуальная выпускная труба *5* выделенного цилиндра снабжена зондом для отбора проб отработавших газов, соединенным через магистраль *6* с газоанализаторами. Концентрация монооксида углерода и несгоревших углеводородов измеряется газоанализатором *7* "Бекман-590", концентрация оксидов азота — газоанализатором *8* "Бекман-591".

В процессе экспериментов двигатель был снабжен экспериментальным распределителем зажигания, имеющим две кулачковые шайбы, что позволяло регулировать угол θ опережения зажигания в выделенном цилиндре независимо от угла опережения зажигания во вспомогательных цилиндрах и измерять его с помощью стробоскопа СТ-5.

Мощностные и экономические показатели выделенного цилиндра определяли методом отключения в нем зажигания [3]. Для определения индикаторной мощности выделенного цилиндра получали эффективную мощность $N_{e4}$ при работе четырех цилиндров, а затем отключали зажигание в выделенном цилиндре, выводили двигатель на тот же скоростной режим и измеряли эффективную мощность $N_{e3}$ при работе на трех вспомогательных цилиндрах. Это позволило рассчитать индикаторную мощность $N_i$ выделенного цилиндра по формуле № 1 (см. таблицу).

Программа проведения исследований предусматривала получение регулировочных характеристик по составу смеси при различных значениях коэффициента $\eta_V$ наполнения (формула № 2). При этом входящий в нее суммарный расход $G_{в\Sigma}$ воздуха через выделенный цилиндр определялся по формуле № 3. Коэффициент же α избытка воздуха в заряде, поступающем в выделенный цилиндр, дает формула № 4, а коэффициент ξ расслоения заряда — формула № 5. Авторы проводили свои исследования при фиксированном значении ξ = 0,455.

Коэффициент $\alpha_1$ избытка воздуха в смеси, поступавшей в выделенный цилиндр через смесевой канал, определяли по формуле № 6.

Результаты этого этапа исследований оказались весьма любопытными, что подтверждает рис. 4 на котором приведены регулировочные характеристики по составу смеси в выделенном цилиндре, работающем по обычному процессу и по процессу с расслоением заряда, полученные на различных нагрузочных режи-

| № формулы | Формула | Примечания |
|---|---|---|
| 1 | $N_i = N_{e4} - N_{e3}$ | $N_{e4}$ — эффективная мощность двигателя при его работе на четырех цилиндрах; $N_{e3}$ — эффективная мощность двигателя при его работе на трех цилиндрах |
| 2 | $\eta_V = \dfrac{G_{в\Sigma}}{30\rho_в V_h n_{дв}}$ | $G_{в\Sigma}$ — суммарный расход воздуха через выделенный цилиндр; $n_{дв}$ — частота вращения коленчатого вала двигателя; $V_h$ — рабочий объем выделенного цилиндра; $\rho_в$ — плотность воздуха, поступающего в цилиндр |
| 3 | $G_{в\Sigma} = G_{в1} + G_{в2}$ | $G_{в1}$ — расход воздуха через смесевой канал; $G_{в2}$ — расход воздуха через воздушный канал |
| 4 | $\alpha = \dfrac{G_{в\Sigma}}{G_т l_0}$ | $G_т$ — расход топлива, поступающего в выделенный цилиндр; $l_0$ — стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива |
| 5 | $\xi = \dfrac{G_{в1}}{G_{в\Sigma}}$ | — |
| 6 | $\alpha_1 = \dfrac{G_{в1}}{G_т l_0}$ | — |

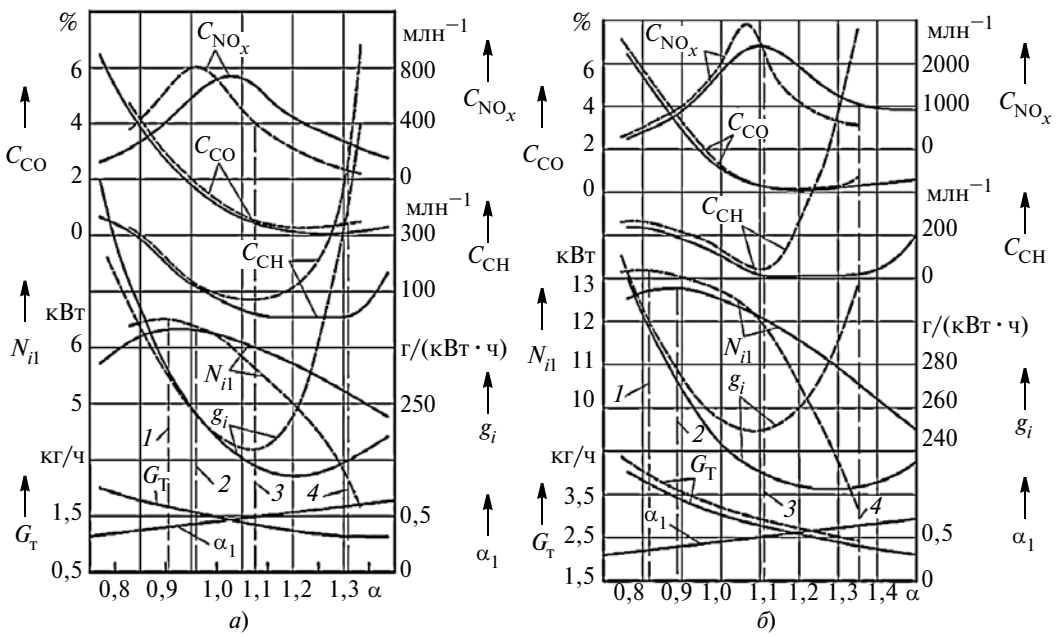



*Рис. 4. Сравнительные регулировочные характеристики по составу смеси в выделенном цилиндре, работающем по обычному процессу и по процессу с расслоением заряда, полученные на различных нагрузочных режимах при $n_{дв}$ = 2700 мин$^{-1}$ и оптимальных углах θ опережения зажигания:*

*а* — частичная нагрузка ($\eta_V$ = 0,39); *б* — полная нагрузка ($\eta_V$ = 0,89 (для обычного процесса), $\eta_V$ = 0,86 (для процесса с расслоением заряда));

*1, 2* — мощностные составы смеси для обычного процесса и процесса с расслоением заряда соответственно; *3, 4* — пределы экономичного обеднения для обычного процесса и процесса с расслоением заряда

мах при $n_{дв}$ = 2700 мин$^{-1}$ и оптимальных углах θ опережения зажигания.

Эти характеристики показывают, что максимальная мощность выделенного цилиндра, работающего по обычному процессу, больше, чем при работе с расслоением заряда, на 3...4 %, что говорит о том, что при расслоении заряда скорость сгорания слишком богатой смеси все-таки снижается. Однако при работе на стехиометрических (α = 1,0) смесях мощности выравниваются, а при дальнейшем обеднении топливовоздушной смеси мощность выделенного цилиндра, работающего с расслоением заряда, даже превышает мощность цилиндра при работе по обычному процессу.

При работе ДВС с расслоением заряда на пределе экономичного обеднения $g_i$ цилиндра снижается на 10...12 %, а выбросы монооксида углерода, несгоревших углеводородов и оксидов азота — на 40...50 %. Таким образом, очевидно, что разработанный рабочий процесс намного превосходит стандартный по эффективности. Так что будущее (в крайнем случае, ближайшее) — именно за такими ДВС.

**Литература**


1. Луканин В.Н., Алексеев И.В., Шатров М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: учебник для вузов / под ред. Луканин В.Н., Шатров М.Г. М.: Высшая школа, 2007. — 400 с.
2. Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я. Оптические методы исследования потоков. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2003. — 416 с.
3. Врубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. Для вузов / Под ред. Орлин А.С., Круглов М.Г. М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.



УДК 621.43


# ДВИГАТЕЛЬ Z-ENGINE: ОПТИМИЗАЦИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ И РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВА


**В.С. АКИМОВ**, доктора техн. наук **А.С. КУЛЕШОВ** и **В.А. МАРКОВ**, **А.Ю. ЯКОВЧУК**, **Т.Т. ЙАНХУНЕН**

МГТУ имени Н.Э. Баумана (499. 263-69-18),

ЦИАМ (8.926. 340-01-87),

Омет, Финляндия (+358.40.502-62-57)



*Рассматривается новый тип двигателя — z-engine.*



***Ключевые слова:*** *дизель, дизельное топливо, процесс топливоподачи, процесс распыливания топлива, характеристики токсичности отработавших газов.*



**Akimov V.S., Kuleshov A.S., Markov V.A., Jakovchuk A.Yu., Janhunen T.T.**


**Z-ENGINE: OPTIMIZATION OF FUEL INJECTION AND SPRAY PROSESSES**


*A new diesel engine type — z-engine — is considered.*



***Keywords:*** *diesel, diesel fuel, fuel injection process, fuel spraying process, exhaust gases toxicity characteristics.*


Все более ужесточающиеся требования к токсичности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания заставляют их производителей не только разрабатывать и внедрять системы, позволяющие уменьшить эмиссию вредных выбросов, но и использовать принципиально новые способы организации рабочего процесса. И один из наиболее заметных примеров реализации второго из этих направлений — предложенный [1, 2] финской фирмой "Омет" принципиально новый двигатель, который назван z-engine.

Этот ДВС сочетает в себе основные преимущества двух- и четырехтактной схем. У него, как в двухтактном варианте, полезная работа совершается при каждом обороте коленчатого вала, но он имеет как впускные, так и выпускные клапаны, т.е. такт впуска осуществляется так же, как и в четырехтактном двигателе — пос-

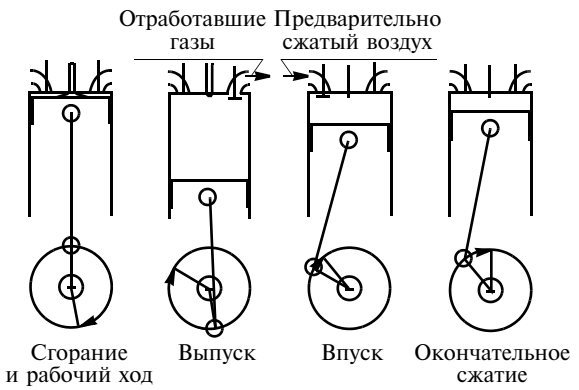



*Рис. 1. Принцип работы двигателя z-engine*

редством вытеснения рабочего тела с помощью поршня, а не продувкой свежим воздухом.

Выгодность такого технического решения очевидна: оно позволяет исключить главный недостаток двухтактных двигателей — потери свежего заряда.

Принцип работы z-engine иллюстрирует рис. 1. Из него следует, что сгорание и рабочий ход имеют практически такую же продолжительность, как и у обычных четырехтактных двигателей. И газообмен у них начинается так же, т.е. с открытия выпускного клапана до НМТ, обеспечивающего выпуск находившихся под давлением газов из цилиндра. Далее оставшаяся их часть вытесняется из цилиндра при движении поршня вверх. Этой продолжительности вполне достаточно для качественной очистки цилиндра.

Сравнительно невелики в нем и насосные потери. Впускной клапан открывается незадолго до закрытия клапана выпускного. Например, на режиме максимальной мощности период его открытия не превышает 22° п.к.в., что обеспечивает требуемый коэффициент наполнения цилиндра, поскольку воздух предварительно сжимается в поршневом компрессоре.

Сжатие рабочего тела занимает ~40° п.к.в., в результате чего геометрическая степень сжатия двигателя оказывается равной 15,5.

При такой схеме газообмена значительная часть отработавших газов остается в цилиндре, т.е. возникает их "внутренняя" рециркуляция, что используется для организации гомогенного смесеобразования — рабочего цикла HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) при отсутствии неконтролируемого преждевременного самовоспламенения, а следовательно, и для снижения выбросов оксидов азота и сажи с отработавшими газами. Кроме того, высокое давление воздуха на впуске обеспечивает высокую интенсивность вихревого движения газов в цилиндре, способствующего улучшению качества смесеобразования. (Характеристики газообмена двигателя приведены на рис. 2.)

Реализованная в z-engine концепция газообмена, естественно, видоизменяет привычную индикаторную диаграмму. Это хорошо видно из рис. 3, на котором приведены индикаторные диаграммы четырехтактного двигателя и двигателя z-engine: индикаторная работа в цилиндре z-engine превышает аналогичную работу в цилиндре четырехтактного двигателя той же размерности. Причина — часть работы сжатия выполняется вне цилиндра двигателя — в поршневом компрессоре.

Результаты проведенных [3, 4] специалистами расчетных и экспериментальных исследований двигателей с воспламенением от сжатия, которые работают на гомогенной топливовоздушной смеси, подтвердили перспективность реализации цикла HCCI с точки зрения требуемых показателей токсичности отработавших газов. В первую очередь — для получения предельно низких выбросов оксидов азота. Однако для этого, как и для повышения топливной экономичности, необходима оптимизация процессов, протекающих в цилиндрах двигателя z-engine. И в первую очередь [5] — процессов впрыскивания и распыливания топлива.

Чтобы убедиться в возможности такой модернизации, авторы статьи провели расчетные исследования, применив программный комплекс Diesel RK. Эти исследования показали, что при организации процесса HCCI в цилиндре z-engine топливо впрыскивается в среду с высокой (~800 K) температурой $T$ и низким (~0,25 МПа) давлением $p_{впр}$. Эти условия способствуют гораздо более интенсивному испарению его капель, чем в цилиндре обычного дизеля. Кроме того, рабочая смесь, как упоминалось выше, содержит больше отработавших газов, поэтому предпламенные реакции значительно задерживаются. С другой стороны, так как начало впуска реализуется очень незадолго (за ~60° п.к.в.

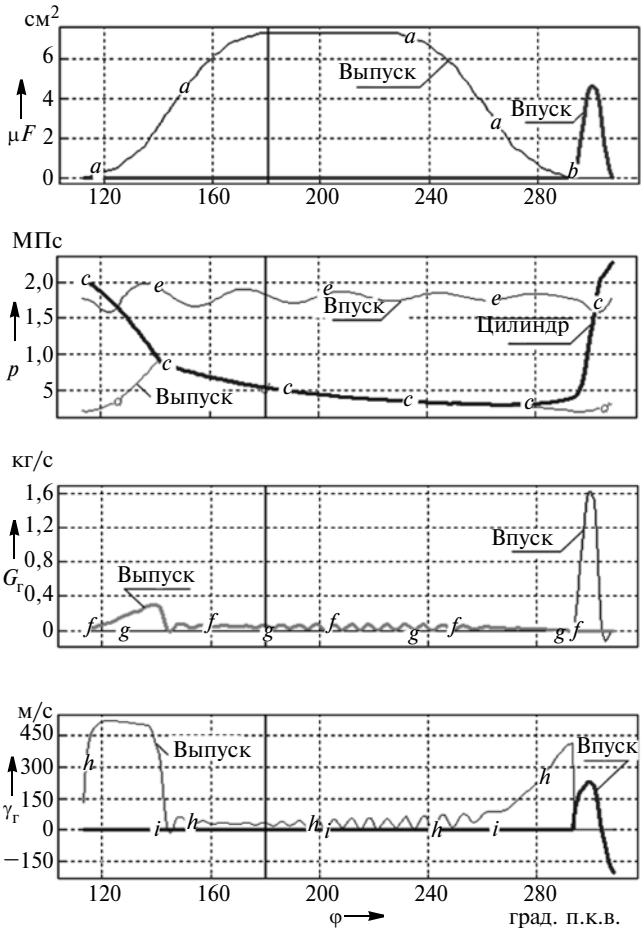



*Рис. 2. Характеристики газообмена в двигателе z-engine по углу поворота коленчатого вала*

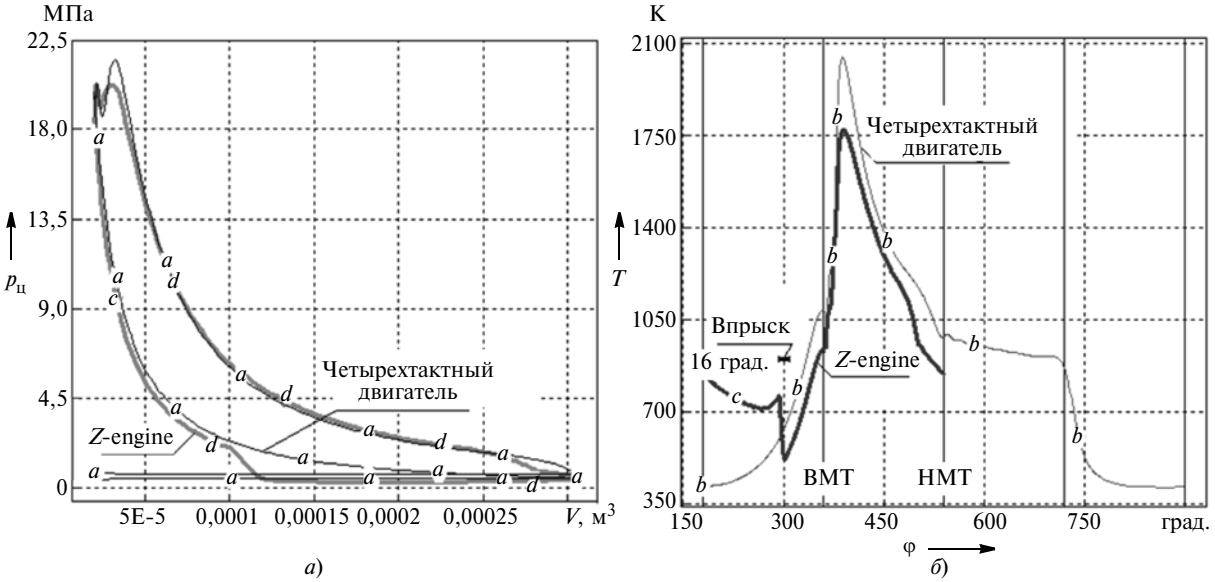



*Рис. 3. Сравнение индикаторных диаграмм четырехтактного двигателя (а) и двигателя z-engine (б)*

против 220° п.к.в. у традиционных двухтактных двигателей) до ВМТ, то количество активных радикалов остается достаточным для того, чтобы воспламенить топливовоздушную смесь с помощью свечи зажигания или подачи дополнительной порции топлива.

В целом же исследование показало, что воспламенение топлива в z-engine можно обеспечить путем управления температурой и давлением топливовоздушной смеси, ее составом (коэффициентом избытка воздуха), количеством отработавших газов в цилиндре (меняя фазы газораспределения), мощностью компрессора и степенью охлаждения наддувочного воздуха, моментом начала и продолжительности топливоподачи, а также моментом подачи напряжения на свечу зажигания.

Характеристики этого двигателя, полученные при расчете рабочего процесса для двухцилиндрового варианта с воспламенением топливовоздушной смеси от искры на частичном нагрузочном режиме, оказываются следующими.

| | |
|---|---|
| Диаметр цилиндра, мм | 72 |
| Ход поршня, мм | 70 |
| Степень сжатия | 15 |
| Частота вращения коленчатого вала, мин$^{-1}$ | 1400 |
| Мощность, кВт (л.с.) | 8,9 (12,1) |
| Среднее эффективное давление, МПа (кгс/см$^2$) | 0,67 (6,7) |
| Мощность поршневого компрессора, кВт | 137 |
| Давление на впуске, МПа (кгс/см$^2$) | 0,44 (4,4) |
| Коэффициент избытка воздуха | 2,3 |
| Расход воздуха, кг/с | 0,014 |
| Доля внутренней рециркуляции, % | 31 |
| Угол опережения впрыскивания топлива, град. п.к.в. | 67 |
| Продолжительность впрыскивания, град. п.к.в. | 2,8 |
| Давление впрыскивания топлива, МПа (кгс/см$^2$) | 54,5 (545) |
| Цикловая подача, мг | 11 |
| Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт · ч) | 210 |
| Удельный массовый выброс оксидов азота, г/(кВт · ч) | 0,01 |

Для получения гомогенной смеси в цилиндре этого (как и любого другого) двигателя необходимо, чтобы топливо распыливалось как можно равномернее и более мелкими каплями, а также, по возможности, не попадало на стенки цилиндра. При этом следует иметь в виду, что противодавление газов в цилиндре z-engine составляет всего лишь 0,25...0,35 МПа (2,5...3,5 кгс/см$^2$), а их плотность — 1,4...1,6 кг/м$^3$. То есть и то и другое намного меньше, чем в цилиндре обычного двигателя. В таких условиях подача топлива с помощью традиционной многосопловой форсунки обычно сопровождается попаданием значительной его части на стенку цилиндра. Поэтому здесь предпочтительны [6] штифтовые или клапанные форсунки, формирующие струю конической формы. Дело в том, что такие топлива сопровождаются кавитацией (или суперкавитацией), которая интенсифицирует распад струи. В результате процесс распыливания становится более качественным, а топливовоздушная смесь — более однородной.

К сожалению, процессы формирования и развития кавитации, а также процессы развития струи топлива, формируемой штифтовой форсункой при впрыскивании, изучены недостаточно, а те предложения, которые опубликованы (например, в работе [6]), при расчете дальнобойности и мелкости распыливания форсунок хороших результатов не дают. Поэтому авторы провели численные исследования, в ходе которых смоделирован процесс впрыскивания топлива штифтовой форсункой, условно разделенный на два этапа — течение топлива в каналах распылителя форсунки и развитие струй топлива с испарением капель внутри цилиндра.

На первом этапе определялись расходные характеристики течения топлива в распылителе; характеристики турбулентности; толщина потока на выходе из распылителя; области, занятые паром, образовавшимся в процессе кавитации; области, занятые воздухом, проникающим из цилиндра в каналы распылителя. При этом использовался программный комплекс ANSYS

Fluent 14, позволяющий моделировать течение двухфазного (жидкость и пар) потока дизельного топлива в проточной части распылителя штифтовой форсунки.

Полученные данные использовались в качестве исходных для второго этапа, на котором моделировался распад струй на капли. При этом размеры $d_{перв}$ капель, полученные при первичном распаде струи, принимались равными толщине $h_п$ потока:

$$d_{перв} = h_п \frac{Q_{эф}}{\pi d_{шт} u_ф},$$

где $Q_{эф}$ — расход дизельного топлива; $d_{шт}$ — диаметр штифта; $u_{эф}$ — скорость течения топлива.

При впрыскивании дизельного топлива в среду с низкой (1,4...1,6 кг/м$^3$) плотностью избежать его попадания на стенку цилиндра сложно. Даже при впрыскивании штифтовой форсункой. Поэтому чтобы найти способ уменьшения вероятности такого попадания, пришлось проанализировать факторы, влияющие на распыливание топлива (диаметр $d_{шт}$ штифта форсунки, максимальное давление $p_{впр}$, продолжительность $\tau_{впр}$ впрыскивания и коэффициент $\varepsilon = F_{факт}/F_{теор}$ сужения струи). При этом оптимальным считался вариант, форсунки которого способны впрыснуть самую большую порцию топлива, не достигающую стенок цилиндра.

Результаты моделирования различных вариантов сочетания перечисленных выше факторов приведены на рис. 4. Это зависимости дальнобойности $L$ струи (*а*) и диаметра $d$ содержащихся в ней капель (*б*) от диаметра $d_{шт}$ штифта, давления $p_{впр}$, коэффициента $\varepsilon$ сужения струи, продолжительности $\tau_{впр}$ впрыскивания и впрыскиваемой порции $q_с$.

Из этого рисунка видно, что уменьшение диаметра $d_{шт}$ штифта сокращает дальнобойность $L$ струи, так как при этом уменьшается эффективное проходное сечение $\mu F_{теор}$ распылителя, а следовательно, и расход $Q_{факт}$ через распылитель:

$$Q_{факт} = \mu F_{теор} \sqrt{\frac{2(p_{впр} - p_ц)}{\rho}},$$

где $p_{впр}$ — давление в цилиндре, $\rho$ — плотность топлива, $\mu$ — коэффициент расхода.

Таким образом, топливо впрыскивается практически с прежней скоростью, но с меньшим импульсом, поэтому кривая *2* на рис. 4 лежит ниже кривой *1*.

Но значительное уменьшение $d_{шт}$ нежелательно, поскольку приводит к тому, что порция $q_e$ топлива, впрыскиваемого в цилиндр без попадания на его стенки, тоже становится меньше.

Повышение давления $p_{впр}$ увеличивает скорость $u_{факт}$ впрыскивания $\left(u_{факт} = \varphi u_{теор} = \varphi\sqrt{\frac{2(p_{впр} - p_ц)}{\rho}}\right)$ и, как следствие, интенсифицирует распад струи. По этой причине кривая *3* на рис. 4, *б* среднего диаметра $d_{32}$ капли по Заутеру располагается ниже кривой *2* на том же рис. 4, *б*.

Минимум кривых $d_{32}$ соответствует моменту, когда все капли малых размеров уже испарились, и в цилиндре остаются только капли большого размера, которые перемещаются с малыми скоростями

Более интенсивный распад струи и более интенсивное испарение капель при впрыскивании под высоким давлением $p_{впр}$ и прежним значением $\mu F_{теор}$ приводит к повышению и цикловой подачи топлива, в результате чего оно достигает стенки цилиндра (кривая *3*). Если повышение $p_{впр}$ вызывает уменьшение проходного сечения из-за возросшей интенсивности кавитации, то скорость $u_{факт}$ впрыскивания возрастает значительно, а расход, наоборот, в меньшей степени.

То есть впрыскивание происходит с максимальными скоростями, но уменьшенными массами (кривые *4* на рис. 4, *а* и *б*). Это позволяет увеличить продолжительность впрыскивания, не вызывая попадания топлива на стенки цилиндра (кривые *5* на рис. *4*, *а* и *б*).

Попадание топлива на стенки цилиндра в условиях низкой плотности газов помогает предотвратить многостадийный впрыск топлива. В частности для двигателя z-engine лучше всего подходит стратегия впрыскивания топлива на режиме максимальной нагрузки, состоящая из четырех порций. Расчет такого впрыска показал: он обеспечивает очень хорошую мелкость распыливания — во фронте струи получен диаметр капель, равный ~1 мкм.

Таким образом, расчетные исследования, выполненные авторами, подтверждают: двигатель z-engine, в котором организовано гомогенное смесеобразование (рабочий цикл HCCI) — действительно, новый шаг в развитии ДВС. Но чтобы ис-

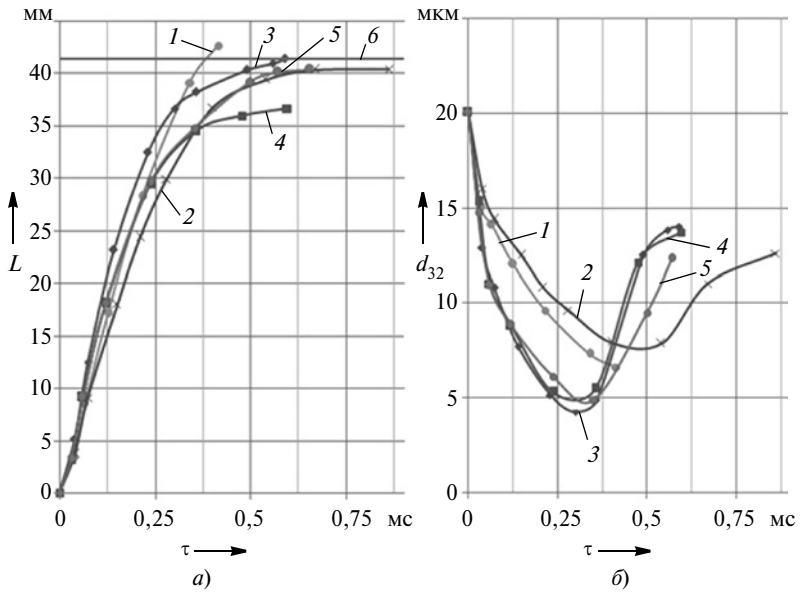



*Рис. 4. Зависимости дальнобойности струи (а) и мелкости распыливания (б) от различных факторов:*

*1* — $d_{шт}$ = 5 мм, $p_{впр}$ = 35 МПа, $\varepsilon$ = 0,8, $\tau_{впр}$ = 0,22 мс, $q_с$ = 0,023 г; *2* — $d_{шт}$ = 2,5 мм, $p_{впр}$ = 35 МПа, $\varepsilon$ = 0,8, $\tau_{впр}$ = 0,22 мс, $q_с$ = 0,011 г; *3* — $d_{шт}$ = 2,5 мм, $p_{впр}$ = 80 МПа, $\varepsilon$ = 0,8, $\tau_{впр}$ = 0,22 мс, $q_с$ = 0,015 г; *4* — $d_{шт}$ = 2,5 мм, $p_{впр}$ = 80 МПа, $\varepsilon$ = 0,5, $\tau_{впр}$ = 0,22 мс, $q_с$ = 0,011 г; *5* — $d_{шт}$ = 2,5 мм, $p_{впр}$ = 80 МПа, $\varepsilon$ = 0,5, $\tau_{впр}$ = 0,32 мс, $q_с$ = 0,023 г; *6* — стенка цилиндра

пользовать все его потенциальные возможности, необходимо оснащать его малоразмерными форсунками, обеспечивающими впрыскивание топлива с высокими скоростями при максимальном сужении сечения (режим суперкавитации или близкий к нему); на режиме максимального крутящего момента организовывать 3...4 стадии впрыскивания; первое впрыскивание начинать как можно раньше (90° п.к.в. до ВМТ).

**Литература**


1. Janhunen T.T. HCCI-Combustion in the Z Engine // SAE Technical Paper Series. 2012. № 2012-01-1573. P. 1—16.
2. Tiainen J., Saarinen A., Grönlund T., Larmi M. Novel Two-Stroke Engine Concept, Feasibility Study // SAE Technical Paper Series. 2003. № 2003-01-3211. P. 1—15.
3. Flowers D., Aceves S., Smith R. et al. HCCI in a CRF Engine: Experiments and Detailed Kinetic Modeling // SAE Technical Paper Series. 2000. № 2000-01-0328. P. 1—13.
4. Yao M., Chen Z., Zheng Z. et al. Effect of EGR on HCCI Combustion Fuelled with Dimethyl Ether (DME) and Methanol Dual-Fuels // SAE Technical Paper Series. 2005. № 2005-01-3730. P. 1—8.
5. Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — 360 с.
6. Ming J., Maozhao X., Hong L., Wei-Haur L., Tianyou W. Numerical Simulation of Cavitation in the Conical-Spray Nozzle for Diesel Premixed Charge Compression Ignition Engines // Fuel. 2011. Vol. 90. P. 2652—2661.
7. Schmid A. Experimental characterization of the two phase flow of a modern, piezo activated hollow cone injector. DISS. ETH № 20852; 2012. P. 1—16.


УДК 629.114-272

# О "БЛОКИРОВАНИИ" ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ СИЛАМИ СУХОГО ТРЕНИЯ В ЛИСТОВОЙ РЕССОРЕ

Канд. техн. наук **В.А. САВЕЛЬЕВ**
НАМИ (495. 454-82-41)

*Блокирование подвески автомобиля силами сухого трения — это миф. Поэтому при моделировании упругих и демпфирующих свойств листовых рессор необходимо применять модель упругих и демпфирующих свойств листовой рессоры, учитывающую увеличение жесткости и уменьшение демпфирующей силы при уменьшении деформации, а также сокращение относительных перемещений концевых участков коротких пар листов по сравнению с длинными парами.*

***Ключевые слова:*** *блокирование, подвеска, автомобиль, листовая рессора, моделирование, силы трения, предварительное смещение, упругие свойства, демпфирующие свойства.*

**Saveliev V.A.**

**ABOUT THE "BLOCKING" OF A SUSPENSION DRY FRICTION FORCES IN THE LEAF SPRING**

*Blocking of car suspension dry friction forces is a myth. Therefore by model of elastic and damping performances of the leaf spring it is necessary to use of model of elastic and damping performances of the leaf spring, which is increase stiffness and decrease in damping force with decreasing the spring deflection and takes account of the value decrease in relative displacements of the short leaves of the spring against the same ones of the longer leaves.*

***Keywords:*** *blocking, suspension, car, leaf spring, modeling, force of a friction, preliminary displacement, elastic properties, damping properties.*

Понятие "блокирование" подвески силами сухого трения непосредственно связано с проблемой моделирования упругих и демпфирующих свойств листовых рессор. При расчетах и исследованиях колебаний автомобилей, в подвесках которых они используются, необходимо возможно более точное отражение упругих и демпфирующих свойств рессор, так как они качественно и количественно определяют характер колебательных процессов. Достаточно точное отражение упругих и демпфирующих свойств может быть достигнуто только на основе учета основных особенностей кинематики и фрикционного взаимодействия листов разной длины при работе рессоры в подвеске.

Проблема моделирования демпфирующих свойств листовых рессор автомобиля рассматривалась многими специалистами в этой области. Однако, к сожалению, она до сих пор не решена. Используемые исследователями модели и реальные объекты дают результаты, противоречащие друг другу, а иногда и законам физики. Например, при исследованиях часто используется модель (рис. 1) упругих и демпфирующих свойств листовой рессоры в виде параллельно соединенных элементов упругости и сухого трения (здесь $F$ — сила сухого трения в листовой рессоре, $C$ — ее жесткость). При таком подходе рессора даже при достаточно малых относительных перемещениях подрессоренной $M$ и неподрессоренной $m$ масс автомобиля рассматривается как заблокированная (когда сила трения между ее листами превосходит силу упругости при ее деформации), т.е. при $F > C|(x_1 - x_2)|$, где $(x_1 - x_2)$ — относительное перемещение масс при колебаниях автомобиля на подвеске.

Это, конечно, упрощает расчеты, поскольку двухмассовая система превращается в одномассовую: из работы упругого элемента подвески исключаются отдельно взятые подрессоренная и неподрессоренная массы автомобиля — они объединяются в единую массу жесткой связью (рис. 2). Другими словами, принимается, что силы сухого трения между листами рессоры блокируют подвеску.

Так, в работе [1] блокирующий эффект подвески подчеркивается особо, и для его количественной оценки предлагается использовать показатель $П_{с.ф} = 1 - \delta$, названный фактическим показателем стацио-

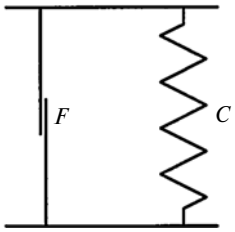



*Рис. 1. Модель листовой рессоры с демпфером типа "сухое трение"*

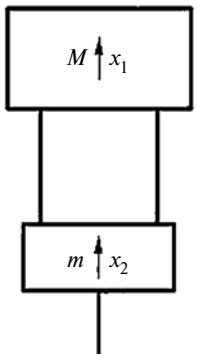



*Рис. 2. Объединение масс M и m силами межлистового сухого трения*

нарности колебаний подрессоренной массы автомобиля на подвеске с листовыми рессорами, который характеризует относительное время пребывания колебательной системы в незаблокированном состоянии (δ — время пребывания подвески в заблокированном состоянии).

Правда, вводя показатель $П_{с.ф}$, авторы этой работы оговаривают, что "свойства реальных сил сопротивления, возникающих при деформировании рессоры, значительно сложнее, чем свойства кулонова трения, привлеченного для объяснения "блокирующего эффекта", а "на записанных осциллограммах невозможно увидеть четкую границу между перемещениями при отсутствии блокировок и началом площадки, соответствующей полной блокировке. Об отсутствии четкой границы говорит и анализ параллельно записывавшейся осциллограммы ускорений. На последней не заметно резкого изменения уровня ускорений при входе в блокировку, хотя в этот момент из-за выключения рессор жесткость подвески увеличивается в 8...10 раз". Все это заставляет отказаться от догмы, согласно которой силы сухого трения, возникающие между листами рессоры при ее деформировании в процессе колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля, могут блокировать подвеску.

Возникает вопрос: а что взамен? Ответ на него дает публикуемая статья. Ее авторы исходили из следующего. Если в качестве модели демпфирующих свойств листовой рессоры принять модель сухого трения, то блокирование подвески неизбежно. Но это, как сказано выше, не находит подтверждения в действительности. Следствием блокирования подвески силами сухого трения в листовой рессоре при одних и тех же условиях должно стать изменение структуры колебательной системы, т.е. переход от схемы, представленной на рис. 1, к схеме рис. 2, и наоборот. То есть при таком подходе колебательная система движущегося в реальных условиях автомобиля должна представлять собой систему со случайно изменяющейся структурой. На самом же деле эта структура не меняется, изменяются только ее параметры. Что объясняется нелинейностью ее упругих и

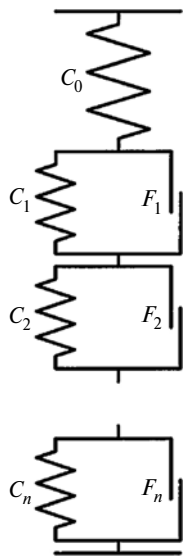



*Рис. 3. Модель листовой рессоры в соответствии с работой [3]*

демпфирующих свойств. Значит, модель сухого трения — пример неудачного выбора модели для исследования и расчетов колебаний автомобиля, в подвеске которого используется этот тип упругого элемента.

Не спасает положение и модель типа "вязкое трение", а также попытка линеаризации сухого трения и его комбинации с трением вязким, так как они не отражают многие особенности конструкции и работы листовых рессор в составе подвески. Однако кулоново трение полностью отбрасывать нельзя. И вот почему.

Модель, предложенная автором работы [2], позволяет отразить такие свойства листовой рессоры, как увеличение силы межлистового трения с ростом ее деформации при ходе сжатия, а также известный эффект увеличения жесткости рессоры с уменьшением амплитуды колебаний. Однако согласно ей, к сожалению, полные перемещения листов разной длины относительно друг друга принимаются равными перемещению рессоры в целом, чего в действительности не может быть. Любой, кто имел дело с рессорами реального автомобиля, знает: перемещения длинных пар листов всегда больше перемещений пар листов коротких. Об этом говорят следы износа на поверхностях длинных листов, оставляемые концами прилегающих к ним более коротких соседних листов.

Такое несоответствие замечено давно. Например, автор работы [3], опубликованной в 1985 г., предложил модель, которая отражает взаимодействие всех смежных листов друг с другом в процессе их деформирования при колебаниях подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля, представляющая собой цепь последовательно соединенных групп, каждая из которых содержит параллельно включенные звенья упругости и сухого трения (рис. 3). Однако, как оказалось, и она действительности не соответствует, поскольку не отражает фактические процессы работы листов в составе рессоры, связанные с ее конструктивными особенностями.

Так, в соответствии с ней, листы рессоры смещаются друг относительно друга не одновременно, а последовательно: сначала длинные, а затем, после разблокирования, — более короткие. Но результаты экспериментов показали: такой сценарий не отвечает действительности. Листовая рессора — более "живой" механизм, чем любая из рассмотренных схем. Она — принципиально упругий элемент, который не может быть недеформируемым, т.е. блокированным (запертым) силами сухого трения. На самом же деле в рессоре может быть относительное перемещение листов без их скольжения. При этом жесткость системы определяется жесткостью при ее работе в зоне предварительного смещения, т.е. жесткостью рессоры в вертикальном направлении и тангенциальной жесткостью фрикционных контактов поверхностей ее листов. Более того, эксперименты показали, что относительные перемещения концов листов начинаются одновременно. Сами же листы в продольном направлении естественно представлять как некоторую сплошную среду — континуум, пренебрегая структурой исследуемых тел на атомарном уровне, т.е. не учитывая деформации их кристаллических решеток. При этом величина полного относительного перемещения складывается из величин предварительного смещения и проскальзывания трущихся тел. Разрыв фрикционной связи в отдельной точке, даже в нескольких зонах, еще не означает блокирования подвески, так как концы смежных листов имеют относительные перемещения при деформации рессоры. Причем

нельзя не отметить, что явление предварительного смещения, известное еще по публикациям 1920-х годов (А.В. Верховский и Дж. Ренкин), учитывается при рассмотрении многих механических систем, например, при расчетах соединений с натягом, при расчетах и исследованиях элементов механизмов, участвующих при передаче сил трением. Демпфер сухого трения [4], расположенный в середине ротора турбомашины, даже если он "закрыт" в случае малых возбуждающих нагрузок, имеет в зоне фрикционного контакта его поверхностей взаимные перемещения и на этих перемещениях (в зоне предварительного смещения) происходит рассеивание энергии колебаний.

Несмотря на сравнительно малое значение зоны предварительного смещения при трении под нагрузкой контактирующих тел, пренебрежение им не позволяет достаточно строго описать процесс колебаний автомобиля с подвеской на листовых рессорах, особенно при малых относительных перемещениях его подрессоренной и неподрессоренной масс. Однако в работах по моделированию демпфирующих свойств листовых рессор и использованию соответствующих моделей при расчетах и исследованиях колебательных процессов автомобилей с подвесками на таких рессорах явление предварительного смещения фактически игнорируется. Хотя эффект предварительного смещения контактирующих поверхностей листов рессоры при ее нагружении в процессе колебаний автомобиля может быть отражен с помощью модели, представленной на рис. 4 ($C_0$ — жесткость рессоры без учета фрикционного взаимодействия листов друг с другом). Фрикционное взаимодействие первого и второго листов моделируется элементами Гука ($C_1$) и Сен-Венана ($F_1$) и т.д. до пары $k-1$ и $k$ листов с соответствующими элементами $C_n$ и $F_n$ (тангенциальная жесткость и сила трения, возникающая в контакте поверхностей листов рессоры при их относительном перемещении). При этом элемент $C_{n-1}$ соединен с элементом $C_n$ в точке, делящей последний на участки упругих элементов с жесткостью $C'_n$ и $C''_n$, и так как концы длинных листов находятся под действием меньших сжимающих сил, чем последующих коротких, то $F_1 < F_2 < ... < F_n$.

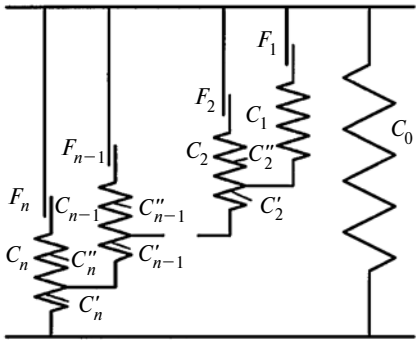



*Рис. 4. Модель упругих и демпфирующих свойств листовой рессоры с учетом явления предварительного смещения фрикционного взаимодействия контактирующих тел*

Учитывая это соотношение сил межлистового трения, определяющее начало проскальзывания соответствующих пар листов рессоры, процесс изменения ее упругодемпфирующих сил может быть представлен следующим образом. При малой деформации рессоры при отсутствии проскальзывания в парах трения, моделируемых элементами $F_1...F_n$, ее жесткость определяется жесткостью пружины $C_0$ и параллельно включенной цепочкой последовательно между собой связанных элементов $C_1$, $C'_2 ... C'_{n-1}$, $C'_n$. Когда силы упругости этой цепочки равны силе трения, моделируемой элементом $F_1$, в этой паре начинается проскальзывание, и пружина, жесткость которой равна $C_1$, перестает деформироваться, т.е. давать дополнительный вклад в увеличение силы упругости рессоры при дальнейшей деформации. Поэтому деформированию подвергается остальная цепочка элементов $C_2$, $C'_3 ... C'_{n-1}$, $C'_n$, в которой еще нет проскальзывания листов. При достижении силы упругости этой цепочки упругих элементов максимального значения силы трения $F_2$ начинается проскальзывание второго листа и т.д. То есть начало проскальзывания пары $k-1$ и $k$ листов соответствует положению, когда сила упругости элемента $C_n$ равна силе, моделируемой элементом $F_n$. Отсюда следует, что предлагаемая модель позволяет учесть такие свойства листовой рессоры, как увеличение ее жесткости при малых амплитудах деформаций, а также демпфирующей силы с ростом деформации в процессе хода сжатия вследствие проскальзывания все большего числа пар листов, т.е. с увеличением суммарной силы трения в колебательной системе.

Кроме того, эта модель в связи с учетом предварительного смещения контактирующих поверхностей обеспечивает синхронность перемещений всех листов друг относительно друга при нагружении или разгружении рессоры, а также уменьшение перемещений последних (коротких) пар по сравнению с перемещениями первых (длинных) пар листов, т.е. соблюдение условия $l_1 > l_2 > ... > l_n$, где $l_1$, $l_2$, $l_n$ — относительные перемещения первого и второго, второго и третьего, ... $k-1$ и $k$-го листов в зонах контакта концов второго, третьего, ... $k$-го листов с поверхностями первого, второго, ... $k-1$ листов.

Таким образом, из сказанного следует, что блокирование подвески автомобиля силами межлистового сухого трения не соответствует действительности. Для устранения этого противоречия необходимо принимать во внимание предварительное смещение листов рессоры при ее деформировании в процессе относительных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля.

Это фундаментальное свойство фрикционного контакта учтено в предлагаемой модели упругих и демпфирующих свойств листовых рессор. Кроме того, в этой модели отражены и такие важные особенности работы рессоры, как повышение жесткости и снижение демпфирующей силы при уменьшении деформации рессоры, а также меньшие относительные перемещения концевых участков коротких пар листов, чем длинных.

**Литература**


1. Путятин В.В., Атоян А.М. К оценке блокирующего эффекта сил сухого трения в подвеске автомобиля // Автомобильная промышленность.1975. № 4. С. 26—28.
2. Кольцов В.И., Пирковский Ю.В., Ковицкий В.И. Модель листовой рессоры // Автомобильная промышленность. 1970. № 10. С. 14—16.
3. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин // М.: Машиностроение. 1985. — 200 с.
4. Пономарев Ю.К. Особенности гистерезиса пар сухого трения при круговых движениях вибратора // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. № 4 (3). Т. 13. С. 1192—1195.

УДК 621.316.545

# МОЩНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ КЛЮЧ ДЛЯ СИЛОВОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Канд. техн. наук **В.А. ПРОХОРОВ**
Университет машиностроения (МАМИ) (499. 762-09-76)

*Рассматриваются вопросы схемной реализации транзисторных ключей при низких напряжениях источника питания на борту автотранспортных средств. Приводится разработанная автором электрическая схема такого ключа и основные его показатели.*

***Ключевые слова:*** *полупроводниковые преобразователи электрической энергии, транзисторный ключ, степень насыщения транзистора, статические потери мощности на транзисторе, система автоматического регулирования, электрическая схема транзисторного ключа, драйвер, показатели транзисторного ключа.*

**Prochorov V.A.**
**POWERFUL TRANSISTOR SWITCH FOR AUTOMOTIVE POWER ELECTRONICS**

*Examines the issues of circuit implementation of the transistor switches at low voltage power source on Board vehicles. Provides electric scheme, developed by the author of the key and its main indicators.*

***Keywords:*** *semiconductor converters of electrical energy, transistor switch, degree of saturation of the transistor, static power loss on the transistor, automatic control system, the electric circuit of the transistor key, driver, the main characteristics of the transistor key.*

В настоящее время на борту современных автомобилей используется большое число потребителей электрической энергии, требующих различных уровней напряжения питания. Такие уровни формируются встроенными в устройство полупроводниковыми преобразователями, называемыми вторичными источниками питания. Силовыми элементами этих источников, наряду с другими, являются транзисторы, работающие в режиме высокочастотного переключения.

В качестве ключей в преобразователе могут быть применены как IGBT, так и биполярные транзисторы. IGBT-транзисторы обладают хорошими динамическими свойствами, почти не требуют мощности на их управление. Но по сравнению с биполярными транзисторами на сегодняшний день они пока ещё обладают, как транзисторы составные по своей сути, более высоким падением напряжения во включенном состоянии. Последнее обстоятельство особенно ощутимо при низких уровнях напряжения первичного источника питания, свойственных бортовым сетям АТС. Поэтому более предпочтительными могут оказаться ключи, реализованные на базе биполярных транзисторов.

Как известно, при переходе границы от линейного режима работы биполярного транзистора к состоянию насыщения в ключевом режиме работы напряжение между коллектором и базой сначала уменьшается до нуля, а потом изменяет свою полярность и вновь начинает расти (рис. 1 и 2). В обоих случаях общее падение напряжения на транзисторах будет равным:

$$U_{КЭлин} = U_{КБ} + U_{БЭ} \text{ и } U_{КЭнас} = -U_{КБ} + U_{БЭ},$$

а следовательно, $U_{КЭнас}$ будет всегда меньше $U_{КЭлин}$.

На рис. 3 представлены экспериментально полученные графики изменения основных параметров транзистора ТК-40 при переходе режима работы от линейного к насыщенному.

Из графиков видно, что при достаточной степени насыщения общее падение напряжения $U_{кэнас}$ на транзисторе становится достаточно малым — доли вольта. Таким образом, если следить за степенью насыщения транзистора и поддерживать её в автоматическом режиме на оптимальном уровне во всём диапазоне изменения тока нагрузки (тока коллектора транзистора), то можно значительно уменьшить статические потери мощности в транзисторном ключе. Отмеченное выше состояние оптимального насыщения транзистора может поддерживать система автоматического регулирования степени его насыщения. Её структурная схема представлена на рис. 4.

Работает система следующим образом. Пусть в ней имеет место установившийся режим, т.е. нагрузка постоянна. В этом случае $U_{КЭ} = -U_{КБ} + U_{БЭ}$. Затем нагрузка меняется, например, в сторону её увеличения. При этом возрастает ток коллектора ключа, а степень

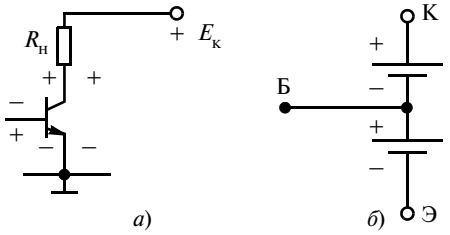



*Рис. 1. Полярность напряжений на переходах база—эмиттер, база—коллектор и между эмиттером и коллектором при линейном режиме работы:*
*а* — электрическая схема; *б* — эквивалентная схема

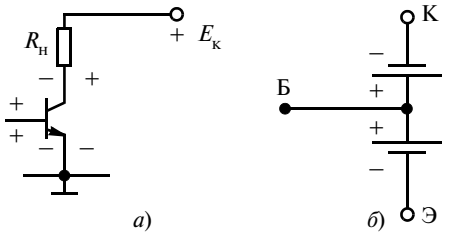



*Рис. 2. Полярность напряжений между электродами транзистора в режиме насыщения:*
*а* — электрическая схема; *б* — эквивалентная схема

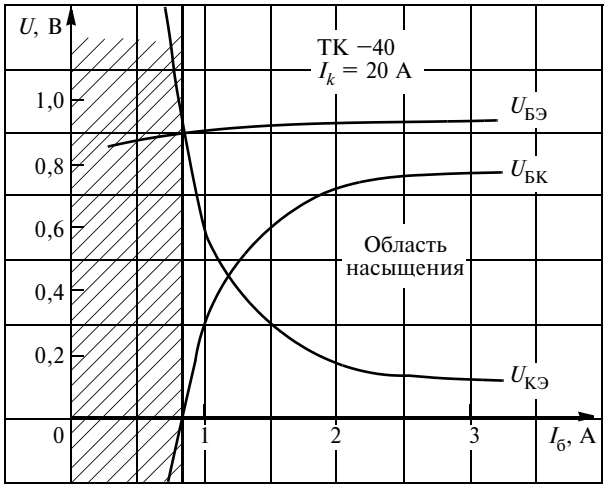



*Рис. 3. Характеристики транзистора ТК-40 в области зоны насыщения*

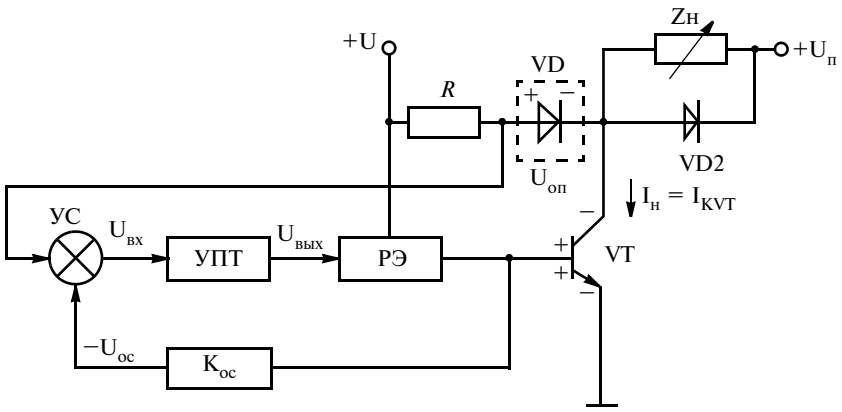



*Рис. 4. Структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования степени оптимального насыщения транзисторного ключа:*

VT — силовой транзисторный ключ; $Z_н$ — изменяющаяся нагрузка ключа; $U_{оп}$ — источник опорного (эталонного) напряжения; УС — устройство сравнения (сумматор); УПТ — усилитель постоянного тока; РЭ — регулирующий элемент; +U — источник питания базовой цепи силового транзистора; $K_{ос}$ — звено обратной связи; $-U_{ос}$ — сигнал отрицательной обратной связи; $+U_п$ — напряжение питания нагрузки

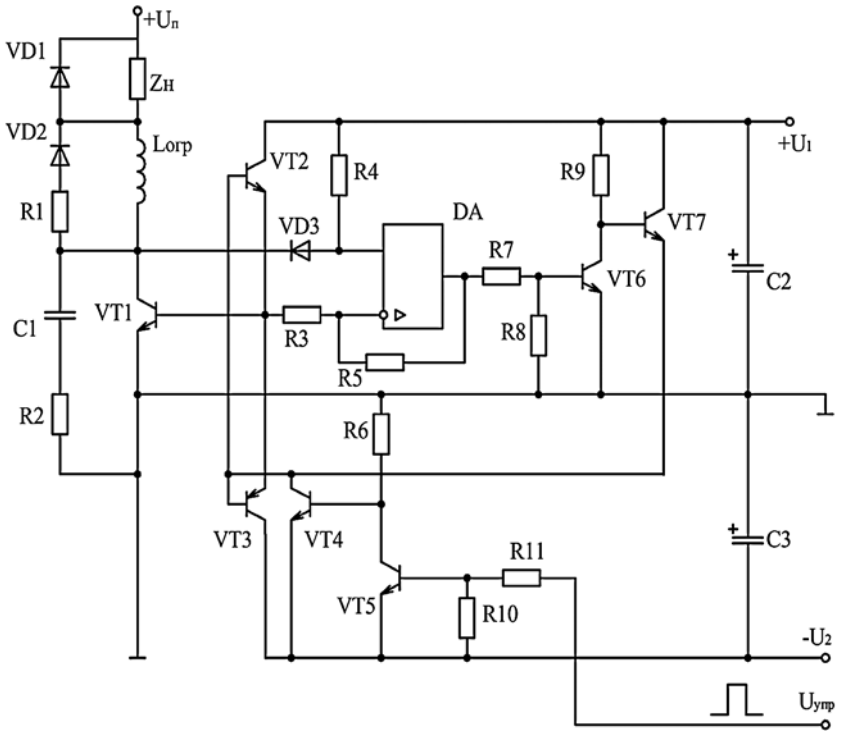



*Рис. 5. Электрическая схема многофункционального ключа на биполярных транзисторах*

насыщения транзистора уменьшается. Уменьшается и абсолютное значение $U_{кБ}$ (транзистор "пошёл" в сторону выхода из режима насыщения). Дальнейший ход изменения взаимосвязанных параметров можно проследить по следующей цепочке:

$$Z_н\downarrow \rightarrow I_н(I_{KVT})\uparrow \rightarrow |U_{КБ}|\downarrow \rightarrow U_{вхус}\uparrow \rightarrow U_{вх\ упт}\uparrow \rightarrow$$

$$\rightarrow U_{вых\ упт}\uparrow \rightarrow R_{рэ}\downarrow \rightarrow I_{BVT}\uparrow \rightarrow |U_{КБ}|\uparrow.$$

Транзистор автоматически возвращается в состояние прежней степени насыщения, т.е. ток базы транзистора автоматически следует за током коллектора (нагрузки).

Принципиальная электрическая схема ключа и схема его управления (драйвера) представлены на рис. 5.

Непосредственно сам силовой ключ с элементами его защиты выполнен на транзисторе VT1. От коммутационных перенапряжений он защищён элементами R2C1, а от сквозных токов — микродросселем $L_{огр}$ и элементами VD2R1. Источник опорного напряжения реализован на резисторе R4 и диоде VD3. Функцию устройства сравнения (сумматора) выполняет дифференциальный вход микросхемы DA (в частности, операционного усилителя). Усиление выделенного сигнала ошибки осуществляется сначала микросхемой, а затем многокаскадным УПТ на транзисторах VT6VT7VT2. Последний из них является элементом, регулирующим ток базы силового транзистора. Все указанные узлы, кроме силового выходного транзистора, работают в линейном режиме усиления. При выключенном ключе осуществляется его активное запирание с помощью элементов VT3VT4VT5.

Работает ключ следующим образом. При отсутствии на входе $U_{упр}$ управляющего импульса транзистор VT5 закрыт, а транзисторы VT4VT3 открыты, подавая на базу ключа VT1 отрицательное напряжение "$-U_2$" и обеспечивая режим его активного запирания. При появлении на управляющем входе импульса управления транзистор VT5 открывается, а транзисторы VT4VT3 закрываются, снимая с ключа напряжение активного запирания. Так как на неинвертирующем входе микросхемы DA имеет место высокий потенциал, поступающий на него через резистор R4, то на выходе её также имеет место положительное напряжение. Усиленное транзисторами VT6VT7VT2, оно вводит ключ VT1 в режим насыщения. При этом степень его оптимального насыщения регулируется таким образом, чтобы с изменением тока нагрузки (тока коллектора ключа) автоматически изменялся бы и ток базы. Происходит это следующим образом.

Пусть, например, с изменением нагрузки ток коллектора уменьшился. При этом степень насыщения транзистора возросла, возросло и напряжение смещения база-коллекторного перехода ключа. Сравниваясь с эталонным напряжением $U_{оп}$ на входах микросхемы DA, оно приведёт к уменьшению напряжения на её выходе, а следовательно, к уменьшению токов транзисторов VT6VT7VT2, вследствие чего уменьшится и базовый управляющий ток ключа VT1. Все элементы при этом, кроме ключа VT1, работают в линейном усилительном режиме, автоматически следя

за степенью его насыщения. При снятии сигнала управления открываются транзисторы VT4VT3, подавая на базу ключа отрицательное запирающее напряжение и дополнительно замыкая на себя ток транзистора VT7.

Как видим, разработанный транзисторный ключ обладает следующими достоинствами: он способен автоматически регулировать ток базы силового транзистора в зависимости от тока нагрузки, что позволяет держать его в режиме оптимального насыщения во всём диапазоне изменения этого тока; осуществляет активное запирание силового транзистора в режиме отсечки, что приводит к уменьшению статических потерь от токов утечки в силовом транзисторе и динамических потерь за счёт сокращения времени рассасывания неосновных носителей в его базе; защищает силовой транзистор от коммутационных перенапряжений и недопустимо больших сквозных токов; ключ управляется слаботочными сигналами от цифровых микросхем с выходными параметрами $U_{упр}$ = 5 В, $I_{упр}$ = 1...2 мА, он способен работать при токах нагрузки 50...100 А; в стойках инвертора ключи легко могут быть гальванически развязаны по цепям управления с помощью оптоэлектронных элементов.

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АТС

УДК 629.4.054:629.331

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУНАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СТРУКТУРЫ ИДЕНТИФИКАТОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ

**В.В. МЕЛЕШИН**
Северо-Кавказский федеральный университет
(+7. 928. 008-48-83)

*Представлены результаты полунатурных испытаний структуры идентификаторов при определении методом автоматической идентификации параметров автомобиля, полученные в математической системе MatLAB/Simulink.*

***Ключевые слова:*** *полунатурные испытания, идентификация, оценивание, информационные параметры автомобиля.*

**Meleshin V.V.**

**RESULTS OF SEMI-NATURAL TESTS OF STRUCTURE OF IDENTIFIERS AT DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE CAR**

*Results of semi-natural tests of structure of identifiers are presented when determining by a method of automatic identification of parameters of the car, received in mathematical system MatLAB/Simulink.*

***Keywords:*** *semi-natural tests, identification, estimation, information parameters of the car.*

Ранее автор уже представил вниманию читателей технологию автоматической идентификации параметров автомобиля при моделировании его движения в процессах выбега и разгона (см. "АП", 2013, № 11 и "АП", 2014, № 5), а также алгоритм работы комплекса для диагностирования технического состояния автомобиля и структуру необходимых для этого идентификаторов (см. "АП", 2014, № 6). В завершение темы, очевидно, необходимо привести результаты полунатурных испытаний идентификаторов, полученные в математической системе MatLAB/Simulink, дать методику определения параметров автомобиля и рекомендации по использованию разработанного комплекса для диагностирования технического состояния автомобиля.

Чтобы решить эти задачи, автор выполнил серию экспериментальных исследований измерительно-вычислительного блока комплекса с целью подтвердить адекватность (или убедиться в надежности) работы трех идентификаторов в отдельности и совместно при изменении в имитационной модели автомобиля его параметров или процессов его движения, а также оценить качество определения его характеристик. И такую возможность давало то обстоятельство, что имитационная модель автомобиля составлялась при вполне определенных допущениях. В частности, что относительный суммарный момент $\overline{M}^1_{с(к)}$ внутренних сил сопротивлений в автомобиле изменяется по линейному закону; что относительный суммарный момент инерции $a^1_{(к)}$ автомобиля, приведенный к его ведущим колесам, постоянный, хотя авторы многих работ, например [1], утверждают обратное: скажем, для КШМ ДВС момент инерции зависит от положения коленчатого вала и расположения цилиндров (у V-образных ДВС изменяется ~ на 2 %, у рядных — до 15 %); что относительный тяговый момент $\overline{M}_т$ на ведущих колесах автомобиля определяется при положении рейки ТНВД, соответствующем максимальной подаче топлива; что, наконец, значения всех параметров были получены при движении автомобиля на III передаче в коробке передач. Отсюда напрашивается вывод: если измерительно-вычислительный комплекс при изменении перечисленных выше условий даст те же или близкие к ним результаты, то он вполне пригоден для диагностирования технического состояния автомобилей.

В этом и заключалась суть полунатурных испытаний. В их ходе были изменены характеристики относительного суммарного момента $\overline{M}^1_{с(к)}$ внутренних сил сопротивлений в автомобиле, относительного суммарного момента инерции $a^1_{(к)}$ автомобиля, а также относительного тягового момента $\overline{M}_т$ на ведущих колесах, который при разгоне автомобиля имитировался положением рейки ТНВД, соответствующим половине максимальной подачи топлива. Кроме того, движение ведущих колес автомобиля рассматривалось при включенных I и V передачах в коробке передач.

В итоге были получены следующие результаты.

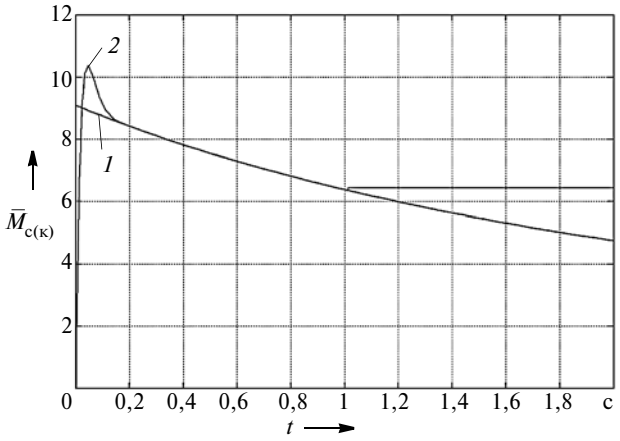



*Рис. 1. Процесс идентификации относительного суммарного момента внутренних сил сопротивлений в автомобиле, приведенный к ведущим колесам, при измененной характеристике момента сопротивлений ДВС*

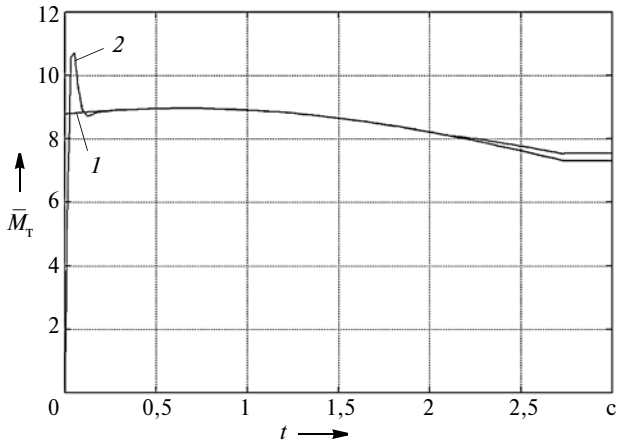



*Рис. 2. Процесс идентификации относительного суммарного момента инерции автомобиля, приведенный к ведущим колесам, при измененной характеристике момента инерции ДВС*

Изменение характеристики относительного суммарного момента $\overline{M}^{1}_{с(к)}(t)$ внутренних сил сопротивлений в автомобиле, приведенного к ведущим колесам, не повлияло на процессы идентификации этого момента (рис. 1). Изменение характеристики относительного суммарного момента инерции $a^{1}_{(к)}(t)$ автомобиля, приведенного к ведущим колесам, практически не повлияло на процессы идентификации этого момента (рис. 2). Изменение положения органа топливоподачи не повлияло на процессы идентификации относительного тягового момента $\overline{M}_{т}(t)$ на ведущих колесах (рис. 3). Во всех описанных случаях коэффициенты усиления идентификаторов не изменялись.

Однако проведение испытаний на низшей (I) и высшей (V) передачах показали, что изменение передачи в коробке передач вызывает необходимость изменения коэффициентов усиления всех трех идентификаторов.

Из всего сказанного выше вытекает следующее.

Во-первых, идентификаторы с высокой точностью определяют любые характеристики автомобиля. Причем как постоянные во времени характеристики, так и изменяющиеся по линейным, нелинейным и гармоническим законам. Во-вторых, вид и значения определяемых характеристик практически не влияют на точность их идентификации. В-третьих, для определения характеристик автомобиля при проведении его испытаний в состояниях "1" (сцепление включено) и "0" (сцепление выключено), а также при разных включенных передачах в коробке передач коэффициенты усиления идентификаторов необходимо изменять.

Из рис. 1...3 также видно, что ошибка идентификации характеристик ДВС и трансмиссии составляет $\sim 1 \cdot 10^{-7}$. Такое высокоточное их определение говорит о том, что разработанный автором измерительно-вычислительный комплекс полностью удовлетворяет требованиям [2] о том, что при испытаниях ДВС измерения их крутящего момента должны выполняться с точностью ±1 %, а частоты вращения коленчатого вала — ±0,5 %.

Теперь, поскольку рассматриваемый комплекс является аппаратурой для испытательных стендов, нельзя не назвать и особенности конструкции стенда, который подходит для этого комплекса.

Таких особенностей две. Первая: момент инерции беговых барабанов, которые не должны быть связаны с нагрузочными устройствами, — известен. Вторая: стенд должен быть оборудован устройством для вывешивания ведущих колес автомобиля, т.е. подъемником.

Обе особенности связаны с методикой идентификации параметров автомобиля, которая сводится к определению тягово-скоростных и топливно-экономических показателей двигателя, его КПД, механических характеристик трансмиссии и эксплуатационных характеристик автомобиля. Эта методика включает последовательное выполнение трех циклов работы комплекса. Цикл "1" выполняется в пять этапов, для каждого из которых задаются режим движения автомобиля, состояния его ведущих колес и силового агрегата, и измеряются характеристики $\omega_{к}$ и $G_{т}$ автомобиля (см. таблицу). При выполнении цикла "2" идентифицируются соответствующие каждому этапу измерения характеристики $\overline{M}^{1}_{с(к)}$; $\overline{M}^{0}_{с(к)}$; $a^{1}_{(к)}$; $a^{0}_{(к)}$ и $M_{т}$ автомобиля. Цикл "3" выполняет расчет тягово-скоростных и топливно-экономических показателей двигателя, его КПД, механических характеристик трансмиссии и эксплуатационных характеристик автомобиля.

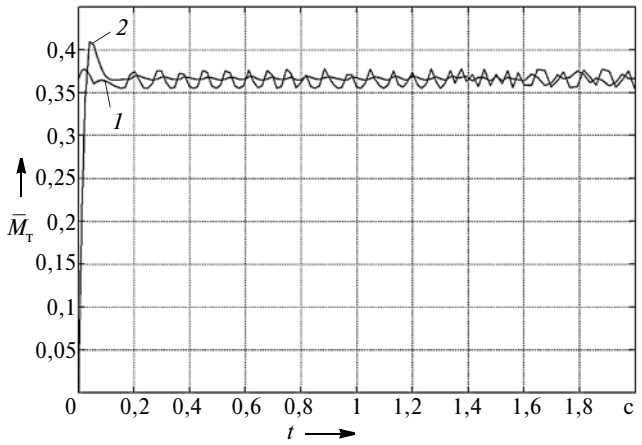



*Рис. 3. Процесс идентификации относительного тягового момента на ведущих колесах автомобиля при измененном положении органа топливоподачи*

| Этапы | Режим движения автомобиля | Состояние | | Характеристики автомобиля | | | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ведущих колес автомобиля | силового агрегата автомобиля | цикл "1" | цикл "2" | цикл "3" | |
| 1 | Выбег | На беговых барабанах | Двигатель не работает, сцепление включено | $\omega_к$ | $\overline{M}^1_{с(к)}$ | $M_e$ $M_i$ $M_д$ $N_e$ $g_e$ $G_т$ $J_д$ $\eta_м$ $\eta_i$ $\eta_e$ $M_{тр}$ $\eta_{тр}$ $M_т$ $\eta^а_e$ | $\omega_к$ — угловая скорость ведущих колес; $M_e$ — эффективный крутящий момент двигателя; $M_i$ — индикаторный крутящий момент двигателя; $M_д$ — момент внутренних сил сопротивлений в двигателе; $N_e$ — эффективная мощность двигателя; $g_e$ — удельный эффективный расход топлива; $G_т$ — часовой расход топлива; $J_д$ — момент инерции двигателя; $\eta_м$ — механический КПД двигателя; $\eta_i$ — индикаторный КПД двигателя; $\eta_e$ — эффективный КПД двигателя; $M_{тр}$ — момент внутренних сил сопротивлений в трансмиссии; $\eta_{тр}$ — эффективный КПД трансмиссии; $M_т$ — тяговый момент на ведущих колесах; $\eta^а_e$ — эффективный КПД автомобиля |
| 2 | | | Двигатель работает, сцепление выключено | | $\overline{M}^0_{с(к)}$ | | |
| 3 | | Вывешены | Двигатель не работает, сцепление включено | | $a^1_{(к)}$ | | |
| 4 | | | Двигатель работает, сцепление выключено | | $a^0_{(к)}$ | | |
| 5 | Разгон | | Двигатель работает, сцепление включено | $\omega_к G_т$ | $\overline{M}_т$ | | |

Практическое применение разработанного измерительно-вычислительного комплекса ориентировано на предприятия и организации различных форм собственности, деятельность которых связана с созданием, испытанием, эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом автомобилей, потому что позволяет решать довольно много практических задач. Во-первых, удовлетворять требованиям нормативного документа [3], т.е. определять эффективную мощность $N_e$ ДВС. С этой точки зрения в качестве потенциальных потребителей могут выступать сервисные центры, СТО, грузовые и пассажирские АТП. Во-вторых, так как точность определения характеристик двигателя удовлетворяет требованиям [2], то он вполне пригоден для проведения любых испытаний автомобиля, т.е. потенциальными его потребителями могут выступать заводы по производству и ремонту ДВС, испытательные лаборатории и центры по сертификации. В-третьих, комплекс позволяет определять 14 характеристик автомобиля, шесть из которых специфические и не используются при диагностировании и испытании автомобилей. Значит, его потенциальными потребителями могут быть конструкторские, научно-технические и инженерные центры автозаводов.

**Литература**


1. Егоров А.В. Бестормозной метод определения момента инерции КШМ V-образных ДВС / А.В. Егоров, С.Г. Кузовков, Д.В. Кожин, С.В. Дмитриев // Автомобильная промышленность. 2010. № 12. С. 27—30.
2. ГОСТ 14846—81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. — М.: Изд-во стандартов, 2003. — 41 с.
3. ГОСТ 23435—79 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров. — М.: Изд-во стандартов, 1979. — 8 с.



УДК 662.662


# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА ЛЕГКОВОМ АВТОМОБИЛЕ


Д-р техн. наук **И.М. КОКЛИН**, **М.С. ПОТАПЕНКО**, **Е.С. ПОТАПЕНКО**, **А.В. ЩЕНДРИГИН**

Невинномысский филиал кафедры РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина,

ЗАО "Осколцемент", РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина,

ООО "Газпром трансгаз Ставрополь" (865. 543-36-69)



*Показан опыт эксплуатационных испытаний легкового автотранспорта в городских и трассовых условиях с использованием компримированного природного газа (КПГ) в качестве моторного топлива.*



***Ключевые слова:*** *экономическая эффективность, система газоснабжения автомобилей, любительский автопробег, физические принципы работы двигателей внутреннего сгорания на природном газе.*



**Koklin I.M., Potapenko M.S., Potapenko E.S., Shendrigin A.V.**


**EXPERIENCE OF USING OF GAZ-MOTOR FUEL ON CAR**


*Experience of running test of car in town and lined condition by using special gas as motor fuel.*



***Keywords:*** *economic efficiency system of gas supply of the cars, rally fans, physical principles of operation of the internal combustion engines on the natural gas.*


Расширить сырьевую базу автомобильных топлив и одновременно уменьшить вредное воздействие на окружающую среду можно за счет использования так называемых *нетрадиционных, или альтернативных, топлив.* Наибольшее распространение на автомобильном транспорте уже получили газообразные углеводородные топлива, которые относятся к чистым в экологическом отношении моторным топливам. Стоимость газа в 2...3 раза ниже стоимости бензина и дизельного топлива, а его запасы превосходят нефтяные. Эти факторы обусловили интерес к применению газа на автотранспорте [1].

Природный газ обладает уникальной комбинацией технико-экономических и экологических показателей: стойкостью к детонации, благоприятными условиями смесеобразования, широкими пределами воспламенения с воздухом, что позволяет его использовать в качестве моторного топлива как главной альтернативы традиционным видам топлива (бензин, ДТ, керосин) [2...4]. Состоят природные газы на 90...97 % из метана и потому близки к нему по свойствам.

Несколько отличается от природного так называемый попутный газ. Наличие в нем тяжелых углеводородов делает его менее стабильным по составу, чем природный газ, что снижает его ценность для двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Однако после переработки "жирного" газа в "сухой"[5] (извлечения тяжелых углеводородов) он также становится пригодным для использования в качестве моторного топлива (табл. 1).

Двигатель внутреннего сгорания обязан своим появлением именно газу. Это изобретение позволило переложить физическую нагрузку человека на машины.

Наибольшее применение на транспорте нашел компримированный (сжатый) природный газ, обладающий лучшими моторными качествами и возможностью доставки потребителю трубопроводным способом, в схеме Единой системы газоснабжения (ЕСГ) [5, 6].

Важным фактором расширения рынка сжатого природного газа является практический опыт, а одним из способов популяризации газомоторного топлива преимущественно служат автопробеги [7]. История применения газомоторного топлива на транспорте знает такие пробеги, один из которых был организован по предложению руководителя автомобильной лаборатории АН СССР академика Е.А. Чудакова в 1946 г. по маршруту Берлин—Киев—Москва протяженностью 2603 км. В целях показа достижений в создании газобаллонной аппаратуры в 1991 г. был проведен второй в истории пробег по Европе, в котором приняли участие газобаллонные автомобили 16 иностранных фирм и 12 отечественных автомобилей, в том числе шесть — с газобаллонной аппаратурой для КПГ и шесть — для сжиженного углеводородного газа (СУГ). Проводимые ОАО "Газпром" автопробеги наглядно демонстрируют важность и целесообразность использования газомоторного топлива (ГМТ), что способствует развитию рынка ГМТ [2, 3, 8].

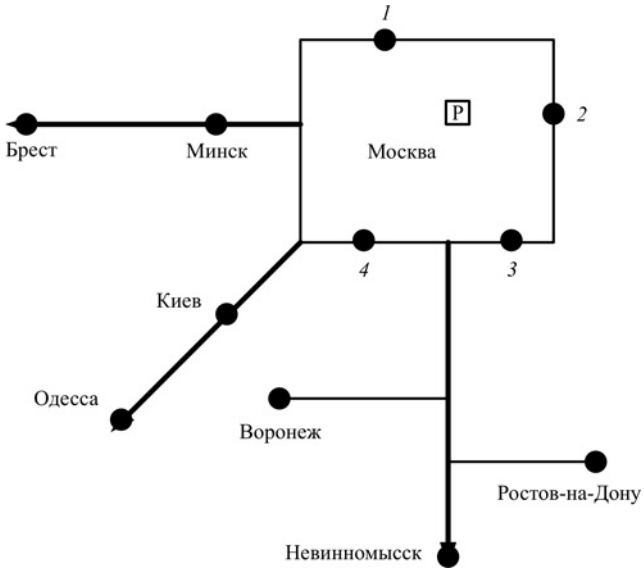



*Схема автопробега:*
*1* — Дзержинский; *2* — Раменки; *3* — Химки; *4* — Долгопрудный

Помимо рекламно-пропагандистской функции такие пробеги помогают получать очень нужную информацию о необходимости размещения дополнительных газозаправочных пунктов; показателях надежности автотранспортных средств в зависимости от условий эксплуатации; длительности пробега на одной заправке; себестоимости километра пробега и т.п.

В настоящей работе представлены результаты использования КПГ на легковом автомобиле в городских условиях с весьма плотным дорожным движением (г. Москва) и трассовых условиях по схеме, приведенной на рисунке.

Объектом испытания был автомобиль "Шевроле Ланос", укомплектованный газобаллонной системой

Таблица 1

| Параметр | Метан | Попутный газ (метан — 87 %, тяжелые углеводороды — 12,5 %) | Сжиженный газ (пропан — 50 %, бутан — 50 %) | Дизельное топливо | Бензин автомобильный |
|---|---|---|---|---|---|
| Температура самовоспламенения, °С | 650 | 550...600 | 500 | 320...360 | 500...600 |
| Октановое число (по моторному методу) | 110 | 95...100 | 95...100 | 35...40 | 60...70 |
| Плотность: | | | | | |
| в парообразном состоянии, кг/м$^3$ | 0,68 | 0,8 | 2,165 | — | — |
| в жидком состоянии, кг/л | — | — | 0,532 | 0,8 | 0,75 |
| Температура испарения, °С | — | 160 | 10 | 270—300 | 200—220 |
| Низшая теплота сгорания: | | | | | |
| в парообразном состоянии, ккал/м$^3$ | 8087 | 9250 | 23582 | — | — |
| в жидком состоянии, ккал/л | — | — | 5800 | 8110 | — |
| Количество воздуха, необходимое для полного сгорания: | | | | | |
| м$^3$/м$^3$ | 9,52 | 10,9 | 27,4 | — | — |
| м$^3$/кг | — | — | 12,7 | 11,88 | 11,96 |
| Теплота сгорания стехиометрической (нормальной) смеси топлива с воздухом ($a$ = 1), ккал/м | 770 | 770 | 830 | 852 | 855 |

Примечание. Свойства топлив при температуре 15 °С и нормальном атмосферном давлении.

Таблица 2

| Автомобиль _____ | | | | | Государственный номер _____ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № п/п | Дата заправки | Пункт заправки | Показания спидометра | Объем газа, $м^3$ / Цена $м^3$ | Стоимость заправки, руб. | Пробег, км | | Стоимость км пробега | | Примечание |
| | | | | | | газ | бензин | газ, руб. | бензин, руб. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1. | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | |

OMWL четвертого поколения с распределенным впрыском газа, что делает его двухтопливным с автоматическим переключением на вид топлива. Использован газовый металлопластовый баллон объемом 80 л, позволяющий вместить 18 $м^3$ газа, а это эквивалентно 18 л бензина. Постоянное место стоянки автомобиля — в районе станции метро "Юго-Западная".

Заправка сжатым газом в Москве осуществляется четырьмя действующими АГНКС под номерами 1, 2, 8, 10, расположенными вдоль МКАД. Из более чем сотни заправок автомобиля в городе Москве в основном приходится на АГНКС № 10, расположенной на расстоянии 5 км от места стоянки автомобиля.

Данные по учету расхода моторного топлива в ходе автопробега фиксировались в ведомости (табл. 2).

За время наблюдений в Москве пройдено 31 153 км, из них 2 480 км — на нефтяном топливе, т.е. доля на КПГ — 92 %. Исследовано влияние на расход моторного топлива режима дорожного движения с учетом его плотности (автомобильные "пробки"). В условиях Москвы получены данные расхода 9,8 $м^3$ на 100 км пробега при нормативе 10 $м^3$. Об эффекте использования КПГ можно судить по следующим показателям: цена метана в Москве на исследуемый период составляет 13,9 руб., бензина АИ92 — 29,4 руб. за литр.

В условиях Москвы при количестве выполненных замеров расхода КПГ (более 80) и протяженности пробега на газовом топливе получены результаты себестоимости одного километра, которая в 2,0...2,5 раза ниже, чем на бензине, что позволило окупить затраты на переоборудование автомобиля (41 800 руб.) в течение одного года.

При исследовании выявлена зависимость объема наполнения газового баллона от температуры окружающего воздуха. В частности, показано, что при температуре +33 °С объем наполнения равен 15,4 $м^3$, а при температуре −27 °С — 24,1 $м^3$. Это даёт возможность найти закономерность для разработки методики расчета заправляемого объема КПГ.

За период испытания было выполнено три трассовых пробега.

Первый пробег (5...12 мая 2012 г.) по маршруту Москва—Минск—Брест—Минск—Москва (2753 км). Для данного маршрута характерны: высокоскоростная магистраль (средняя скорость 140 км/ч), что повлекло увеличение расхода топлива; стоимость кубометра газа на всех АГНКС Белоруссии одинакова (7 руб. 40 коп.); одна заправка обеспечивает пробег до 350 км, что выгодно в сравнении с Москвой, где этот показатель равен 180...200 км.

Пробег на газовом топливе составил 2121 км, на бензине — 632 км, при этом на газ израсходовано 1108 руб., а на бензин — 1150 руб., что ярко демонстрирует экономическую выгоду газомоторного топлива.

Второй автопробег — по маршруту Москва—Киев—Одесса—Москва (2621 км с 1 по 6 мая 2013 г.). На маршруте заправка автомобилей газом осуществлялась на АГНКС городов Москва, Коломна, Брянск, Шостка, Нежин, Киев, Белая Церковь, Умань, Одесса.

Необходимо отметить, что сеть газовых заправок метаном на территории Украины достаточно развита. Это позволило пройти почти весь маршрут на газу и лишь 150 км — на бензине при уровне цен 24,5 руб./$м^3$ за КПГ и 42 руб. — за один литр бензина. Из общих затрат на топливо 4070 руб. на жидком топливе расход составил 370 руб.

Третий автопробег — Москва—Воронеж—Ростов-на-Дону—Невинномысск. Собственно пробеги по этому маршруту выполнялись многократно в течение двух лет. Заправка осуществлялась на АГНКС в городах и населенных пунктах: Москва, Новомосковск, Воронеж, Шахты, Кущевская, Кропоткин, Невинномысск. Общая протяженность маршрута составила 1450 км, из них 350 км — на бензине. Причиной необходимости движения на бензине послужило отсутствие АГНКС на участке Шахты—Воронеж, что привело к удлинению маршрута на 97 км за счет заезда к АГНКС (только заезд к АГНКС в Новомосковске со-

Таблица 3

| Россия | США |
|---|---|
| За период 2000...2004 гг. в России зарегистрировано 212 пожаров газобаллонных транспортных средств. При этом, по данным Академии ГПС МЧС России, ГУГПС МЧС России и Московского государственного строительного университета, в эксплуатации находилось 400 тыс. ГБА, 91 % из них использовали сжиженный пропан-бутан, 9 % — работали на сжатом метане. ***На автомобилях, работающих на КПГ, не зафиксировано ни одного пожара.*** | В 98 тыс. аварий газобаллонных автомобилей, работающих на КПГ, не отмечено ни одного возгорания. За 10 лет эксплуатации 2400 автомобилей, работающих на метане, было преодолено 280 млн км и зафиксировано 1360 столкновений с их участием. В 180 случаях ***удар приходился в зону размещения баллонов высокого давления, но ни один баллон не был поврежден (по данным американской газовой ассоциации (АГА))*** |

ставил 40 км). При этом потеря времени в пути в среднем составила 1 ч 16 мин, затраты на топливо — 1590 руб., из них 890 руб. — на КПГ при длительности пути 1100 км. И 700 руб. при пробеге 350 км, что подтверждает значительную выгоду использования газомоторного топлива.

Автопробеги, наряду с разъяснениями экономических преимуществ использования КПГ, помогают развеять миф о газовом топливе как *"бомбе"*, на которой сидит владелец автомобиля. Природный газ, по сравнению с другими видами топлива, даже более безопасен. Основной его компонент — метан — почти в 2 раза легче воздуха, поэтому в случае разгерметизации оборудования он сразу улетучивается, а не "оседает", в отличие от других видов топлива; он не токсичен, не канцерогенен, т.е. безопасен для здоровья людей и всего живого на Земле; имеет высокий (650 °С) нижний предел самовоспламенения (для сравнения — у бензина — 550 °С, у пропанобутановой смеси — 500 °С, у дизельного топлива — 320 °С); диапазон его пожароопасных концентраций находится в пределах 4,4...17,0 % (ГОСТ 52136—2003) объема (у паров бензина — 1,4...7,4 %, у пропанобутановой смеси — 1,8...8,6%, у паров дизельного топлива — 1,1...8,0 %). Уровень безопасности подтверждают данные статистики России и США, приведенные в табл. 3 [4].

**Литература**


1. Панов Ю.В. Установка и эксплуатация газобаллонного оборудования автомобилей: Учебное пособие. — М.: Издательский центр "Академия", 2002. — 160 с.
2. Сахаров С.А., Пронин Е.Н. Золотой век метана // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 5. С. 45—48.
3. Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Золотаревский Л.С. Природный газ как моторное топливо на транспорте. — М.: Недра, 1996. — 255 с.
4. Интернет ресурс www.kamaz.ru.
5. Коклин И.М., Потапенко Е.С., Маленкина И.Ф. Развитие региональных систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом // АГЗК+АТ. № 5. 2013. С. 7—18.
6. Ткаченко И.Г. ООО "Газпромтрансгаз Ставрополь" // Опыт использования КПГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 1. С. 27—29.
7. Панорама автопробега. — М.: Транспорт на альтернативном топливе. 2010. № 1. С. 4—6.
8. Дементьев В.В., Коклин И.М. О программе строительства АГНКС и криоАЗС с целью расширения использования газомоторного рынка. — М.: АГЗК+АТ, № 4. 2014. С. 34—50.


# ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ


УДК 669.14:539.431


## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ


Д-р техн. наук **А.Н. САВКИН**, **А.В. АНДРОНИК**,
канд. техн. наук **А.И. ГОРУНОВ**, **А.А. СЕДОВ**
Волгоградский ГТУ (8.902. 383-06-49),
Казанский национальный исследовательский ТУ
имени А.Н. Туполева



*Изложены вопросы подбора материала для кузова автомобиля, с какими техническими, экономическими и географическими особенностями это сопряжено, проанализированы последние достижения металлургии и производства полимеров и композитов, а также проблемы безопасности, ремонта и утилизации.*



***Ключевые слова:*** *материалы, конструкция, автомобиль, стоимость, технологичность материалов.*



**Savkin A.N., Andronik A.V., Gorunov A.I., Sedov A.A.**


**ANALYSIS OF ADVANCED MATERIALS IN AUTOMOBILE STRUCTURES**


*Questions of material selection for automobile body and are outlined, latest advantages of metallurgy, polymer and composite manufacturing as well as safety, repair and recycling are analyzed from automobile engineer standpoint.*



***Keywords:*** *materials construction, automobile, cost, ability of materials.*


Бесспорно, ключевыми факторами дизайна крупносерийных автомобилей являются стоимость, безопасность, удобство массового производства и универсальность ремонта. Кроме того, в различные исторические этапы развития автомобилестроения возникали проблемы, решение которых затрагивало дизайн кузова. Так, в послевоенные 1950-е истощенная Европа ограничивала потребление стального проката [1], замедляя производство автомобилей. В 1960—1970-х активно боролись с коррозией, особенно на северо-востоке США, Канаде и Европе. После эмбарго арабских стран и Организации стран-экспортеров нефти против стран-союзников Израиля в Октябрьской войне 1973 г., вылившегося в четырехкратный рост цен на нефть, и Иранской революции в 1978—1979 гг., вызвавшей их двукратный рост, правительства всерьез задумались о топливной экономичности. В 1990-х Европейская Ассоциация автопроизводителей поддержала экологические стандарты "Евро", стимулирующие снижение эмиссии выхлопных газов. В 2000-х, несмотря на активное сопротивление автопроизводителей, получили развитие стандарты безопасности, разработанные Европейской программой оценки новых автомобилей (EuroNCAP).

Сегодня производство стали стабильно, разработаны способы защиты кузова от коррозии, позволившие объявить срок гарантии в 12 лет [2]. В то же время топливная экономичность и защита окружающей среды все еще волнуют государственные органы, предприятия и потребителей. Появление альтернативных автомобильных силовых установок, достижения металлургии и производства пластиков, появление новых конструкций и технологий генерируют разнообразие решений этих проблем. Например, ужесточающийся

закон об экономии топлива, принятый в США еще в 1975 г., приводит к снижению массы автомобилей, популяризации экономичных моделей, принятию концепции "электромобильности" [3]. В 2007 г. был принят закон об энергетической безопасности США, который должен привести к очередной значительной экономии топлива к 2020 г. Однако спрос на мощные двигатели, крупногабаритные и автомобили с колесной формулой 4×4 в США почти не снижается, тогда как статистика приводит поразительный рост средней снаряженной массы автомобиля с 1970 по 2010 г в ЕС до 90 %!

Экологические стандарты "Евро" находят все большее распространение как в ЕС, так и за его пределами. Конференция ООН, посвященная проблемам изменения климата, проведенная в Канкуне (Мексика) в 2010 г., подчеркнула заинтересованность ЕС и США в ужесточении экологических требований в отношении автомобильного транспорта. Заметим, США — одна из немногих стран, которая не ратифицировала Киотский протокол об изменении климата. Кроме того, как показывает сообщение комиссии ООН по проблеме изменения климата, явная корреляция между накоплением углекислого газа в атмосфере и климатическими изменениями не установлена. Исследования некоторых российских экологов показывают, что вклады современных увеличенных выбросов углекислого газа и оксидов азота среди прочих парниковых газов второстепенны. Интересно, что доля автомобильного транспорта в загрязнении атмосферы оксидами азота и углерода, углеводородами преобладает только в крупных городах, нанося вред именно городской экологии. В национальном и мировом масштабе эмиссии доминирует топливно-энергетический комплекс и промышленность [4]. Очевидно, что распространение электромобилей не решит проблемы эмиссии, а только перенесет ее на другие отрасли. Поэтому причины ужесточения экологических требований не вполне ясны с позиции промышленной экологии.

Как известно, на топливную экономичность автомобилей влияют аэродинамика; сопротивление колес вращению; масса; КПД трансмиссии; оптимальная эксплуатация двигателя; вспомогательное оборудование; прерывистое выключение двигателя; использование вторичных источников энергии. Считается, что улучшение топливной экономичности сейчас подчиняется правилу — снижение массы 10 % обеспечивает экономию 6...7 % топлива. Поэтому необходимость экономить топливо и очищать выхлопные газы автомобиля выливается в активно обсуждаемую сегодня задачу облегчения автомобиля. В связи с чем благодаря активному развитию сталей высокой прочности и исследованию легких материалов большой потенциал облегчения автомобиля кроется в снижении массы кузова.

Каждый может внести вклад в решение проблем топливной экономичности и загрязнения окружающей среды покупкой электромобиля вместо автомобиля с ДВС. Однако малый пробег, меньшие скорости движения, слабо развитая инфраструктура станций зарядки и технического обслуживания, а также цена более 17 тыс. долл. США за средний европейский семейный электромобиль с кузовом седан позволяют производителям традиционных автомобилей иметь стабильный доход. Однако возникает вопрос, будут ли предприниматься столь значительные усилия в облегчении кузова, если вдруг появятся легкие, эффективные и дешевые батареи для электромобилей [5]. Если наступит этот технологический прорыв, то он ознаменует приход эры электрической тяги. А пока этого не произошло, конструкторы кузова увлечены адаптацией прочных конструкций для поддержки тяжелых энергетических систем альтернативных топливных элементов и электрических батарей к традиционным дизайнам, а также обеспечением защиты от ударов электрических систем автомобилей.

Что касается материалов, то самым распространенным как в конструкциях кузовов, так и в автомобилестроении в целом является ***сталь***. Причины этого коренятся в истории развития отрасли. В 1920-е безусловный лидер мирового автомобилестроения, США, перешел с ручного на машинное производство, причем почти все используемые разнообразные материалы заменили листовой сталью. Идеолог конвейерной сборки автомобилей, Форд, и поставщик кузовных деталей Бадд предпочитали малоуглеродистую сталь, так как скорость штамповки панелей из плоских заготовок и скорость сборки с помощью контактной сварки были привлекательны для массового производства [6]. В результате увеличилась крутильная жесткость кузова [2]. Эта тенденция распространилась и на дочерние европейские компании "Форд Дагенхем" и "Прессед Стил". Тогда сталь и стала доминирующим материалом в кузовостроении. Так продолжалось до 1970-х, а затем были приняты законодательные инициативы, направленные на улучшение топливной экономичности, защиту окружающей среды и повышение безопасности автомобилей, что пробудило интерес автомобилестроителей к легким материалам.

Однако сталь остается основным конструктивным материалом в автомобилестроении. Он универсален, обладает низкой стоимостью, высокими формуемостью и ударной вязкостью, широкими возможностями упрочнения, хорошей коррозионной стойкостью стали с покрытием, простотой соединения, возможностью повторного придания формы на стадиях производства и эксплуатации. Сталь довольно просто подвергается переработке, ее поставки стабильны. К недостаткам стали можно отнести ее высокую плотность и склонность к коррозии без покрытия [7].

Универсальность стали объясняется значительным разнообразием ее марок. На рис. 1 приведены классы стали, применяемые в автомобилестроении, и соответствующий разброс механических свойств — предел прочности на растяжение и относительное удлинение. Обычные автомобильные стали представлены классами: мягкие; рефосфорированные; упрочняемые при горячей сушке; изотропные; углеродисто-марганцевые и низколегированные высокой прочности.

*Мягкие стали* (MILD) обладают преимущественно ферритной микроструктурой, обеспечивающей малые значения предела текучести (от 140 МПа). Сталь для

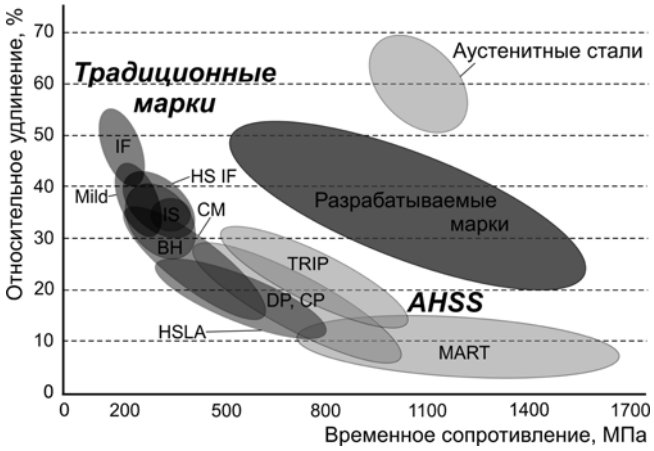



*Рис. 1. Временное сопротивление разрушению и относительное удлинение сталей для автомобилей*

вытяжки или раскисленная алюминием сталь широко применяются в массовом производстве.

*Рефосфорированные стали* имеют ферритную основу с прослойками зерен феррита, обогащенных фосфором. Феррит задает пластичность, а обогащенные фосфором зерна обуславливают прочность. Для них характерна хорошая формуемость, легкость оцинковки и окраски, сопротивление коррозии.

*Стали без атомов внедрения* (IF) отличаются очень низким содержанием углерода (менее 0,005 %). Кроме того, эти стали в отличие от мягких подвергаются вакуумной дегазации, которая избавляет их от атомов внедрения C, O и N, что затрудняет движение дислокаций, облегчает формование и снижает сопротивление вдавливанию и прочность. У них меньший, чем у мягких сталей предел текучести при той же прочности, что делает их более привлекательными для глубоких вытяжек и штамповок.

*Стали высокой прочности без атомов внедрения* (HSIF) имеют высокую пластичность, связанную с ферритной матрицей, и повышенную прочность, вызванную добавками P, Si, Mn, карбидов, нитридов и мелкозернистой структурой. Предел текучести у сталей высокой прочности превышает 210 МПа.

*Сталь, упрочняемая горячей сушкой* (BH), получают двумя способами: деформационным упрочнением в процессе холодного прессования и последующим термическим упрочнением за счет выделения мелкодисперсной упрочняющейся фазы при нагреве металла в печи после окраски продукта (обычно до 150...200 °С). После отжига значительное количество углерода остается в твердом растворе, позволяя миграцию дислокаций после холодного деформирования. Дислокации закрепляются в процессе сушки, поэтому чтобы начать деформацию, требуется значительное напряжение, значит, возрастает сопротивление вдавливанию.

*Изотропные стали* (IS) имеют мелкозернистую ферритную микроструктуру. Главная их особенность — независимость характеристик прочности и пластичности от направления приложенной нагрузки.

*Углеродисто-марганцевые стали* (CM) упрочнены за счет твердого раствора.

*Низколегированные стали* высокой прочности (HSLA) имеют увеличенную прочность вследствие мелкозернистой структуры зерен и микролегирующих элементов, обуславливающих выделение карбидов, что замедляет передвижение дислокаций, повышая предел текучести.

Автомобильные инженеры сегодня интересуются *прогрессивными сталями высокой прочности* (AHSS), желая достичь лучшего энергопоглощения конструкций и высоких рейтингов EuroNCAP. Первоначально было предвзятое отношение к *сталям высокой прочности* (HSS): считалось, что для листовой стали пластичность важнее прочности. Первые марки имели непостоянство свойств и репутацию сталей, вызывающих износ обрабатывающего инструмента. Недавно Международная исследовательская группа по глубокой вытяжке составила рекомендации по дизайну износостойкой оснастки и материалам для нее, и теперь эти проблемы оставлены в прошлом. Однако попытка обрабатывать высокопрочные стали на устаревшем оборудовании приведет к увеличению скрапа и необходимости повторной формовки. Сегодня эти стали применяют для изготовления продольных усилителей, средней и задней стоек, усиливающих элементов крыши и дверей. Реагируя на спрос прогрессивных сталей высокой прочности в автомобилестроении, металлурги разрабатывают новые марки сталей. Согласно AISI, их потребление в автомобилестроительной отрасли за 2006—2010 гг. выросло более чем в 3 раза [8].

В некоторых странах, например США, развитие таких сталей поддерживается государством. В целях снижения массы кузовов департамент по энергетике правительства страны, Национальный совет по производству стали, Американский институт черной металлургии и партнерство между производителями автомобилей и стали в 2006 г. приняли решение о создании третьего поколения сталей AHSS. Желаемый диапазон их временного сопротивления варьируется от 600 до 1600 МПа, относительного удлинения — от 40 до 20 %. Ожидается появление малоуглеродистого (свариваемого), дешевого (дешевые легирующие добавки) набора марок, которые адаптированы к существующему оборудованию для формования, сборки и ремонта. Кроме того, наложены ограничения на химический состав, поскольку требуется поверхность высокого качества [9].

К прогрессивным сталям высокой прочности относятся двухфазные и многофазные стали; стали с пластичностью, обусловленной мартенситным превращением и вызванной двойникованием; мартенситные стали. *Двухфазные стали* (DP) обычно имеют матрицу из феррита и мартенситную фазу, образованную легированием или горячей обработкой. Характерная высокая скорость работы упрочнения — результат образования и наволакивания дислокаций вокруг мартенситной фракции при деформировании. Стали DP, как и стали BH, упрочняются термомеханической обработкой. Комбинация высоких прочности и относительного удлинения обеспечивает большую площадь зоны под кривой деформирования, следовательно, увеличенную ударную вязкость даже в сравнении с низко-

легированной сталью высокой прочности. Легирующие элементы подбираются с целью достижения хорошей свариваемости стали. Как недостаток, детали из двухфазных сталей могут растрескиваться по кромкам в результате микротрещин, возникающих на поверхностях раздела фаз феррита и мартенсита.

Для *сталей с пластичностью, обусловленной превращением* (TRIP), характерно преобразование метастабильного аустенита в мартенсит в процессе деформационного упрочнения. По фазовому составу эти стали представляют собой ферритную матрицу с дисперсно-распределенными включениями прочной мартенситной и (или) бейнитной фазы. Количество остаточного аустенита обычно регулируется содержанием Mn и C. Они обладают высокой ударной вязкостью и усталостной долговечностью, что обуславливает их применение для усиливающих элементов, средних стоек и т.д.

Свойства *сталей с пластичностью, вызванной деформацией двойникования* (TWIP), зависят от энергии дефекта упаковки кристаллической решетки и местной концентрации напряжений, определяющих характер динамического эффекта Холла—Пэтча, который позволяет достичь желаемого аустенитного фазового превращения [10]. Они — высокомарганцевые (до 30 %), удивительно сочетающие пластичность сталей IF и прочность сталей TRIP. Однако пока не решены проблемы с водородным охрупчиванием деформированных областей. Для их решения требуется улучшить технологию сварки, усовершенствовать технологию производства. Пока слабо изучена физическая металлургия этих сталей, в том числе механизм двойникования, эволюция структуры и феномен отложенного разрушения [11]. Стали TWIP предназначены, прежде всего, для изготовления энергопоглощающих элементов. Также они испытываются в двигателестроении. Поистине последние 10 лет научный интерес к таким сталям невероятно высок [12].

*Многофазные стали* (CP) обычно представляют собой горячекатные мелкозернистые стали с небольшим количеством мартенсита, остаточного аустенита или перлита в ферритной/бейнитной матрице. Они обычно обладают высокой пластичностью при том же уровне прочности, что и двухфазные стали.

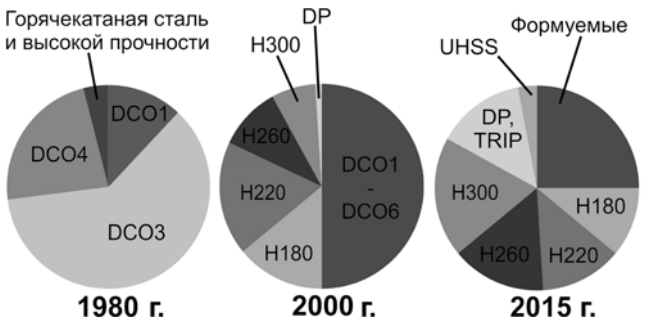



*Рис. 2. Применение высокопрочных сталей в общем потреблении сталей в автомобилестроении*

*Мартенситные стали* (MS) — это, как правило, горячекатные стали с очень высокими показателями прочности. Аустенит, существующий в процессе горячего проката или отжига, почти полностью преобразуется в мартенсит при закалке на выпускном рольганге или в секции охлаждения (при непрерывном отжиге). Эти стали содержат малое количество феррита и (или) бейнита в мартенситной матрице. Доля остаточного аустенита в них меньше, чем в многофазных сталях.

Особняком от вышеперечисленных сталей стоит *нержавеющая сталь.* Ее коррозионная стойкость обусловлена добавкой хрома, создающего оксидную пленку. Такая сталь коррозионно-стойкая, хорошо формуется, приспособлена к производственно-технологическому процессу мягкой стали. В современном автомобилестроении наибольшее распространение получили хромоникелевые аустенитные (серия ASTM 3xx) и хромистые ферритные (серия ASTM 4xx) нержавеющие стали. Так, SS обычно используется для деталей, подверженных воздействию агрессивной окружающей среды и (или) высокой температуры, например, для деталей турбонагнетателей, системы выпуска отработавших газов, топливных баков. Из этой стали обычно изготовляют декоративные элементы дверей, стоек, поручней, колпаков колес и бамперов [13].

В табл. 1 приведены некоторые характеристики сталей высокой прочности. Несмотря на то, что многие марки появились совсем недавно, классы хорошо формуемых сталей уже не являются основными (рис. 2).

Таблица 1

| Сталь | Предел текучести, МПа | Механизм упрочнения | Стандарт |
|---|---|---|---|
| Мягкая (MILD) | 140...180 | Остаточные атомы внедрения C, Mn, Si | EN 10130 |
| Рефосфорированная | 180...300 | Твердорастворное упрочнение | PrEN10xxxx EN10292 |
| Изотропная (IS) | 180...280 | Добавки Si | PrEN10xxxx |
| Упрочняемая горячей сушкой (BH) | 180...300 | Деформационное старение | PrEN10xxxx EN10292 |
| Низколегированная высокой прочности (HSLA) | 260...420 | Измельчение зерен и дисперсионное упрочнение | |
| Двухфазная (DP) | 450...600 (временное сопротивление) | Мартенситная фаза в ферритной матрице | PrEN10xyz |
| С пластичностью, вызванной деформацией двойникования (TRIP) | 500...800 | Преобразование удерживаемого аустенита в мартенсит при деформировании | |
| Многофазная, мартенситная (CP, MS) | 800...1200 | Бейнитные и (или) мартенситные фазы, образованные термической обработкой | |

Диаграммы отражают изменение предпочтений специалистов от мягких сталей в сторону HSS и сталей со сложной фазовой структурой. А последнему десятилетию свойственно возрастание доли (до 30 %) двухфазных и появление (до 8 %) ультравысокопрочных (UHSS) сталей.

На рис. 3 показано изменение предпочтений инженеров BMW, обусловленное желанием облегчить автомобиль, в сторону стаей высокой прочности на примере эволюции их модельного ряда. Очевидно, что возрастание доли этих сталей до 30...50 % происходит в основном за счет сталей, упрочняемых горячей сушкой.

В последнее время в качестве наиболее перспективных легких материалов выступают ***алюминий, магний и полимеры***.

*Алюминий.* На протяжении XX века алюминий был дорогой и легковесной альтернативой, редко применяемой в массовом производстве автомобилей лишь в доконвейерные 1900-е и в послевоенные 1950-е годы. Такое отношение вызвано его высокой стоимостью, удвоенной стоимостью сборки кузова, худшей свариваемостью и формуемостью, чем у стали. Алюминий требует специального оборудования для сварки, холодного деформирования, окраски [14]. Холодное упрочнение алюминия может провоцировать многоцикловую усталость. Так как модуль упругости алюминия в 3 раза меньше, чем у стали, а жесткость имеет первоочередное влияние на дизайн, то приходится увеличивать толщину листов. Тем не менее, как показывает опыт алюминиевых каркасных кузовов "Ауди", в случае налаженной технологии серийного производства алюминиевых элементов кузова, технологические проблемы исчезают, оставляя вопрос стоимости.

Впрочем, алюминий обладает следующими преимуществами: масса алюминиевого кузова обычно меньше в 2 раза; высокая коррозионная стойкость позволяет экономить на окраске и покрытиях; переработка алюминия не составляет проблем, а стоимость алюминиевого скрапа может достигать 50 % стоимости первичного алюминия (для стали – до 15 %). В табл. 2 приведены используемые автомобильные алюминиевые сплавы и их свойства.

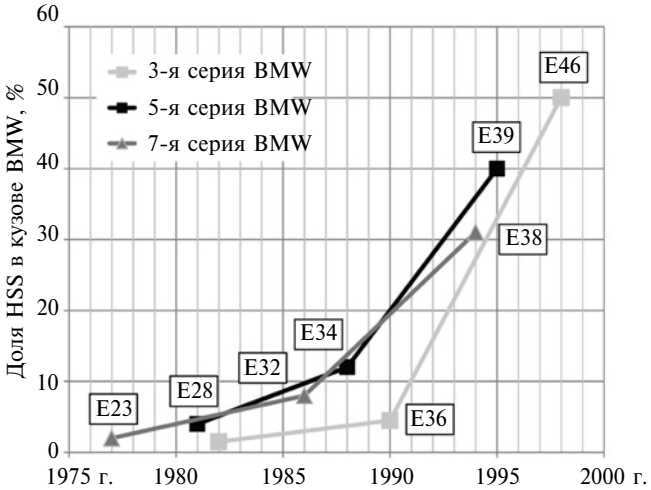



*Рис. 3. Увеличение доли стали высокой прочности в кузовах BMW*

До недавнего времени для изготовления кузовов применялись алюминиево-марганцевые (серия АА 3ххх) и алюминиево-магниевые сплавы (серия 5ххх). Сегодня предпочтение отдается кованым деталям из сплава серии 5ххх и термически упрочняемым сплавам алюминия с магнием и кремнием (серия 6ххх).

Алюминиевые сплавы серии 5ххх относительно дешевы (однако в 3 раза дороже оцинкованной стали), имеют малую прочность, хорошую пластичность, свариваемость, коррозионную стойкость. Упрочнение происходит только холодной пластической деформацией. К их недостаткам относится склонность к образованию линий Людерса (волнистые грубые полоски "типа А" на поверхности листа при течении). Состояние Н111 почти полностью исключает их появление. В процессе правки листов растяжением при пластическом деформировании могут появиться линии Людерса "типа В" (Портвена—Ле Шателье).

Таблица 2

| Параметр | Сплавы АА DIN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | AA6016 AlMg0.4Si1.3 | AA6111 AlMg0.7Si0.9Cu0.7 | AA6009 AlMg0.5Si0.8CuMn | AA5251 AlMg2Mn0.3 | AA5754 AlMg3 | AA5182 AlMg5Mn |
| Состояние | T4 | | | H22 | O/H111 | |
| Временное сопротивление, МПа | 210 | 290 | 250 | 190 | 215 | 270 |
| Предел текучести, МПа | 105 | 160 | 130 | 120 | 110 | 140 |
| Удлинение А80, % | 26 | 25 | 24 | 18 | 23 | 24 |
| *r*, среднее | 0,61 | 0,55 | 0,64 | — | 0,7 | 0,8 |
| *n* 5 %, среднее | 0,3 | 0,28 | 0,29 | — | 0,35 | 0,33 |
| Достоинства | Хорошо формуется, отсутствие линий Людерса | Отсутствие линий Людерса, хорошо упрочняется в печи | Отсутствие линий Людерса | Высокая коррозионная стойкость, низкая стоимость | Хорошо формуется | Отлично формуется |
| Недостатки | Ограниченное упрочнение печью | Склонность к коррозии, ограниченное формование | Ограниченная зафланцовка и формование | Склонность к линиям Людерса после глубокой вытяжки | | |

Таблица 3

| Параметр | Сплавы AA DIN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | AA6022 AlMg0.6Si1.3 | AA6181A EcodalR-608 AlMg0.8Si0.9 | AA5022 AlMg4.5Cu | AA5023 AlMg5.5Cu | Pe-600 |
| Состояние | T4 | | O/H111 | | |
| Временное сопротивление, МПа | 270 | 230 | 275 | 285 | 270 |
| Предел текучести, МПа | 150 | 125 | 135 | 130 | 140 |
| Удлинение A80, % | 26 | 24 | 28 | 29 | |
| *r*, среднее | 0,6 | 0,65 | 0,7 | | 0,72 |
| *n* 5 %, среднее | 0,26 | 0,28 | 0,34 | 0,36 | 0,34 |
| Достоинства | Улучшенное упрочнение печкой | | Улучшенная формуемость | | |
| Недостатки | Направленность свойств при зафланцовке | Ограниченные свойства при зафланцовке | Склонность к коррозиии и линиям Людерса | | — |

Эти дефекты негативно сказываются на внешнем виде изделий, но не влияют на их надежность. Несмотря на обкатку и горячую обработку, эти линии снова появляются при формовании и проявляются через лакокрасочный слой. Поэтому из сплавов серии 5ххх обычно не изготавливают наружные панели [15].

Авиали (серия 6ххх) имеют более высокий предел текучести, чем авали серии 5ххх, подвергаются термической обработке, включая горячую сушку. Сплавы алюминия с магнием и кремнием (в частности, 6016) универсальны и именно они среди прочих алюминиевых сплавов наиболее активно используются в автомобилестроении ЕС, обладая наиболее удачным сочетанием свойств вытягивания, сопротивления вдавливанию и постоянством поверхности. Прочность сплавов средняя, обрабатываемость резанием удовлетворительная. Однако авиали в 5 раз дороже оцинкованной стали, поэтому чаще применяются для наружных панелей.

Последние улучшения в алюминиевых автомобильных сплавах представлены в табл. 3 и включают появление сплавов 6181A и 6022 с большей чем у сплавов 6016 прочностью, что означает улучшение формования и зафланцовки. Они деформируются в горячем состоянии, быстро упрочняются при холодной деформации, хорошо прессуются, штампуются, обрабатываются резанием. Ассортимент третьего поколения этой серии с пониженным содержанием лития постепенно расширяется, однако высокая стоимость пока не позволяет использовать эти сплавы в массовом производстве автомобилей.

*Магний.* Этот металл — самый легкий инженерный металл, его плотность на 35 % меньше плотности алюминия и в 4 раза меньше, чем у стали. Высокочистые варианты магниевых сплавов (например, AZ91E) с минимумом металлических включений (Fe, Cu, Ni) обладают значительной коррозионной стойкостью.

Магниевые сплавы находят применение в автомобилестроении, например для опор двигателя в "Шевроле Корвет" (AM60B) или для передних элементов кузова "Ягуар XJ351".

Однако высокая стоимость магниевых сплавов делает их не очень привлекательными для массового производства. Кроме того, для них пока не существует технологий листового проката и вытяжки. Сам по себе Mg химически активен, пожароопасен, неоднороден, склонен к ползучести, требует покрытия для защиты от коррозии и имеет относительно малую температуру плавления. Д-р Е. Гассимих предложила использовать не склонный к ползучести и коррозии сплав AE42 или более дешевые магниевые сплавы с резиновым защитным покрытием в качестве альтернативы алюминию в отдельных кузовных деталях.

Тем не менее, несмотря на недостатки магниевых сплавов, в ближайшей перспективе возможно внедрение сплавов AZ181 ($\sigma_u$ = 240 МПа, $\sigma_y$ = 160 МПа, $\delta$ = 3 %), AM60 ($\sigma_u$ = 225 МПа, $\sigma_y$ = 130 МПа, $\delta$ = 8 %), AM50 ($\sigma_u$ = 210 МПа, $\sigma_y$ = 125 МПа, $\delta$ = 10 %) для отдельных автомобильных деталей.

*Полимеры, пластики и композиты.* Полимеры обладают следующими преимуществами: технологическая простота изготовления сложной детали; простота сборки; незначительность повреждения деталей при ударе на малой скорости.

Однако к полимерам в автомобилестроении выдвигается целый ряд специфических требований. Например, они должны выдерживать температуру от −40 до 90 °С в салоне. Основные требования можно разделить на четыре категории. Первая: инженерный термопластик обладает низким модулем упругости (3 ГПа) и зачастую низкой прочностью, поэтому вопросы повышения механических свойств для них актуальны. Вторая: полимеры должны обладать хорошей сопротивляемостью ударным нагрузкам, причем это относится к ударам как на малых, так и на больших скоростях (этим требованиям отвечают композиты, однако прогнозирование разлета осколков и их удержание являет собой новую проблему, нехарактерную для металлов). Третья: полимеры склонны к большему тепловому расширению, чем металлы, что может приводить к потере устойчивости, искажению и неровностям зазоров. Эта особенность учитывается при конструировании элементов крепления. Четвертая: химическая стойкость некоторых полимеров критична и они деградируют, например, от попадания топлива на их поверхность. Иногда стабилизаторы позволяют устранить этот недостаток.

*Окончание — в следующем номере.*

# ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.431;621.432

## НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТОКСИЧНОСТЬ ДВС

**В.П. ХОРТОВ**, д-р физ.-мат. наук **А.А. СКВОРЦОВ**,
**А.П. ГРЕБЕНЧИКОВ**
Университет машиностроения (МАМИ) (499. 223-05-23)

*Рассматривается проблема эксплуатации ДВС в условиях больших мегаполисов.*

***Ключевые слова:*** *двигатель внутреннего сгорания, токсичность, комбинированные силовые установки.*

**Hortov V.P., Skvortsov A.A., Grebenchikov A.A.**
**NEW LOOK ON TOXICITY DVS**

*Problem of ecological environment associated with the operation of motor vehicles considers.*

***Keywords:*** *the internal combustion engine, toxicity, combined power plant.*

Начало третьего тысячелетия характеризуется небывалой динамичностью технического прогресса во всех областях науки и техники. Не обошел стороной этот процесс и двигателестроение. Так, в 1900 г. на Земле эксплуатировалось всего 11 тыс. автомобилей, а в 2010 г. их было уже 1,015 млрд, в то же время ежегодный выпуск превышает 50 млн шт. при производственных мощностях 75 млн. Важный показатель — уровень автомобилизации, сильно отличающийся для различных стран. Так, в США на 1 тыс. жителей приходится 750 автомобилей, во Франции — 550, в Японии — 542, в Германии — 519, в Англии — 500, в России — 156, в Индии — 12, в Китае — 10, а в африканских странах — 1. И его значения явно не остановятся на данном уровне, а будут неуклонно расти. Процесс этот невозможно ни остановить, ни затормозить, поскольку автомобилизация несет людям ряд удобств, ускоряет развитие экономики, упрощает перемещение людей и грузов. Однако, к сожалению, она дает и небывалые загрязнения окружающей среды и, особенно, атмосферы крупных городов.

Впервые сигнал о вредности автомобильных выхлопных газов поступил в 1950 г. из штата Калифорния (США), где стали наблюдаться явления смога и связанное с ним резкое ухудшение состояния здоровья людей [1...3]. Правда, первые нормативные документы, ограничивающие допустимую в США концентрацию вредных компонентов в отработавших газах автомобильных ДВС, появились лишь в 1959 г. Спустя 10 лет, в 1969 г., экологические законы начинают принимать и в Европе. Эти законы заставили производителей автомобилей вносить в конструкцию ДВС существенные изменения, в результате которых уровень токсичных компонентов в отработавших газах снизился на 70 %. Но, несмотря на это, отработавшие газы из-за огромного числа транспортных средств и теперь продолжают представлять угрозу для жителей Планеты и, особенно, мегаполисов. Поэтому законодатели разрабатывают все более жесткие нормативы по выбросу вредных веществ, токсичности, а производители двигателей вкладывают огромные средства на достижение этих норм.

Вполне очевидно, что по мере внедрения новых законов будет возрастать стоимость производства двигателей, их дополнительного оборудования и обслуживания. В конце концов, все эти расходы, естественно, ложатся на плечи потребителей в виде увеличения цен на автомобили или затрат на принудительную установку на них какого-нибудь нового и дорогого нейтрализатора. Между тем, многочисленные эксперименты, проведенные в том числе и в Университете машиностроения (МАМИ), показали что, загрязнение атмосферы и ухудшение состояния здоровья людей — результат не столько выброса вредных веществ, сколько снижение концентрации кислорода в атмосфере из-за огромного его потребления двигателями внутреннего сгорания.

Так, один литр бензина даже в идеальном случае ($\alpha = 1$) требует для своего сгорания около 300 л кислорода, т.е. за час работы двигатель среднего легкового автомобиля потребляет столько кислорода, сколько его требуется одному человеку для дыхания в течение месяца [3]. Возвращает же он его в атмосферу ничтожно мало, зато взамен его выделяет углекислый и угарный газы — диоксид и монооксид углерода (табл. 1). При дальнейшей работе двигателя в окружающем его пространстве содержание кислорода с каждым оборотом коленчатого вала снижается, а доля токсичных компонентов увеличивается [4]. В конце концов, при выше изложенных условиях двигатель должен был бы заглохнуть и этого не происходит только из-за ветра и естественного перемешивания воздушных масс. При полном же безветрии эта ситуация вполне реальна. Ведь известно, что при снижении доли кислорода в атмосфере до 15 % не горит свеча и не зажигается спичка.

Для человека это смерть, например, многочисленные медицинские эксперименты дали следующие результаты воздействия снижения количества кислорода во вдыхаемом человеком воздухе (табл. 2). При дли-

Таблица 1

| Компоненты | Содержание компонентов, %, в отработавших газах двигателей | |
|---|---|---|
| | бензиновых | дизелей |
| Азот | 74...77 | 76...78 |
| Кислород | 0,3...5 | 2...8 |
| Диоксид углерода | 5...12 | 1...10 |
| Монооксид углерода | 1...10 | 0,01...0,5 |
| Пары воды | 3...5,5 | 0,5...4 |
| Оксиды азота | 0...0,8 | 0,001...0,4 |
| Углеводороды | 0,2...3 | 0,01...0,1 |
| Альдегиды | 0...0,2 | 0...0,002 |

Таблица 2

| Парциальное давление кислорода в воздухе, Па | Объемный процент кислорода | Влияние содержания кислорода в атмосфере на самочувствие человека, симптомы |
|---|---|---|
| 21331,5 | 20,94 | Нормальное состояние |
| 18665,1 | 18,32 | Первые признаки кислородной недостаточности; у здоровых людей — учащение и углубление дыхания |
| 14665,1 | 14,39 | Первые признаки гипоксии. При длительном вдыхании наступает смерть |
| 7999,3 | 7,85 | Опасно для жизни. Смерть |

тельном вдыхании воздуха с содержанием кислорода менее 15 % действительно может наступить смерть, а 7,85 % — это безусловная смерть. Из медицинских исследований также известно, что содержание в воздухе 14...15% нетоксичного углекислого газа тоже приводит к смерти из-за асфиксии дыхательных путей. И даже присутствие в воздухе 93 % нетоксичного азота вызывает атоксемию и смерть (именно такой случай произошел в Лондоне в 1952 г., когда в связи с полным отсутствием ветра в течение нескольких дней возникший из-за выхлопных газов автомобилей смог унес жизни 4 тыс. человек и еще у 10 тыс. человек появились симптомы острой кислородной недостаточности).

Таким образом, уже один только недостаток кислорода способен вызвать смерть человека, а если учесть, что одновременно увеличивается концентрация диоксида и монооксида углерода, несгоревших углеводородов и оксидов азота, то оказываются совершенно излишними рассуждения об остальных более чем 200 токсичных компонентах отработавших газов ДВС [5, 6].

Когда-то писатель-фантаст Герберт Уэллс мечтал о городах с крытыми улицами, однако после изобретения ДВС эти его мечты оказываются несбыточными. Ведь каков бы ни был состав отработавших газов ДВС, основная его вредность — именно сжигание кислорода воздуха и снижение его процентного содержания в зоне дыхания человека, по иронии судьбы расположенной примерно на том же уровне, что и системы выпуска ДВС. Кроме того, выделяющийся в составе выхлопных газов диоксид углерода по плотности тяжелее воздуха: (1,97 кг/м$^3$ против 1,29 кг/м$^3$), поэтому он и скапливается в нижней части атмосферы. Причем объем кислорода, сжигаемого в цилиндрах ДВС, практически не зависит от типа топлива — будь то бензин, газ, спирт, дизельное топливо и даже чистый водород.

По мнению ряда зарубежных ученых, кислород и природные циклы его репродукции находятся под угрозой. Так, по их данным, в 1973 г. сжигалось 23 % кислорода, производимого всей наземной растительностью в год, а в 1993 г. — уже 90 % и не только за счет роста парка автомобилей и интенсификации деятельности человека, но вследствие уменьшения площади зеленых насаждений. Ведь количество кислорода, выделяемое 1 га лесных насаждений за год ДВС сжигает всего за месяц работы. При такой ситуации кислородная проблема возникнет раньше, чем топливный голод, который может наступить уже через 50 лет. А нефтяной случится и того раньше. Известные в настоящее время запасы нефти в мире составляют ~270 млрд т. К примеру, в 2013 г. ее было добыто 7,5 млрд т. По мнению авторов известного Римского отчета, при существующем уровне потребления ее запасов хватит на 35 лет.

Атмосфера Планеты содержит $2{,}3 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа, а человек, сжигая топливо, ежегодно добавляет его $10^{10}$ т. В то же время специалисты утверждают: если количество углекислого газа в атмосфере Планеты увеличится на 20 % и достигнет 0,0379 %, можно ожидать заметное повышение температуры на Планете. Это приведет к таянию ледников на полюсах уже через 20...25 лет, поднятию уровня мирового океана примерно на 70 м и исчезновению с лица Земли многих стран. Где же выход?

Он, по крайней мере на ближайшие 30...50 лет, видится в снижении потребления кислорода через энергосбережение. Дело в том, что современный автомобиль, снабжен мощным двигателем внутреннего сгорания, который крайне неэкономично расходует эту мощность, а следовательно, и топливо.

Уровень загрузки городских магистралей сейчас таков, что любое АТС обречено на частые остановки, это приводит к тому, что продолжительность движения автомобилей с установившейся скоростью в общем балансе времени работы не превышает 30 %, а протяженность участков разгона и замедления достигает 30...80 % от общего пути (табл. 3). Что касается городского общественного автотранспорта, то здесь дела обстоят еще хуже: всё время движения тех же автобусов состоит из одних только разгонов и торможений.

Как показывает анализ, в обозримом будущем решение данной проблемы состоит в использовании комбинированных (гибридных) силовых установок (КСУ). Ведь для собственно движения автомобиля по городу требуется сравнительно небольшая мощность. Именно такой мощности ДВС необходимо устанавливать на автомобиль, а пиковые нагрузки при разгоне — компенсировать использованием накопителя энергии в виде электрических конденсаторов, которые аккумулируют энергию движущегося автомобиля при его замедлении, торможении, движении накатом и холостом ходе. Причем за счет рекуперации энергии торможения до 50 % ее можно возвратить в конденсаторы. Авторы провели эксперименты и расчеты, которые подтвердили: правильность этого вывода не только для го-

Таблица 3

| Место исследования | Режимы движения АТС | | | |
|---|---|---|---|---|
| | холостой ход, % | разгон, % | установившееся движение, % | замедление, % |
| Москва | 22 | 37 | 12 | 29 |
| Токио | 44 | 24 | 15 | 17 |
| Варшава | 27 | 36 | 14 | 23 |
| Тегеран | 38 | 22 | 26 | 14 |
| Париж | 35 | 22 | 29 | 14 |
| Нью-Йорк | 15 | 37 | 16 | 32 |

Таблица 4

| Цикл | Отношение максимальной мощности ДВС к средней | | |
|---|---|---|---|
| | Легковые автомобили | Грузовые автомобили | Автобусы |
| Магистральный | 1,9 | 2,5 | — |
| Городской | 6,0 | 7,5 | 8,4 |

родских условий работы двигателя, но и движения на загородных магистралях (табл. 4). Поэтому, например, на городском автобусе мощность двигателя может быть уменьшена в 8,4 раза, а на грузовом и легковом автомобилях — в 7,5 раза, причем без ущерба для их динамических качеств. В магистральных же циклах мощность ДВС грузового автомобиля при использовании накопителя энергии можно уменьшить в 2,5 раза.

Таким образом, использование КСУ на автотранспорте позволит снизить общую установленную мощность ДВС в несколько раз, что повлечет за собой пропорциональное снижение расхода топлива, уменьшит расход кислорода и оздоровит воздушную среду в городах. Всеобщее же применение подобных транспортных средств может не только остановить разрушительное наступление его на экологические ценности Планеты, но и вернуть ситуацию на уровень экологического равновесия, существовавшего примерно до 1959 г.

Идея использования КСУ не нова, но применение в них емкостных накопителей электроэнергии — идея, которая принадлежит специалистам Университета машиностроения: они проанализировали все известные на сегодня накопители энергии по их параметрам и установили, что емкостные накопители по простоте использования (нет подвижных частей), безопасности (нет сосудов под высоким давлением), нетоксичности и, самое главное, по отдаваемой мощности в единицу времени практически не имеют себе равных. Их мощность равна $10^5$ Вт/кг, тогда как, скажем, у бензина и тротила — $10^3$ Вт/кг.

Рассмотренная выше концепция подхода к вопросу о токсичности ДВС позволяет сделать важные выводы и рекомендации относительно дальнейшего развития ситуации, связанной с автомобилизацией Планеты.

Автомобиль в теперешнем его виде, т.е. с двигателем внутреннего сгорания в качестве силовой установки, прошел пик своего развития. Если не предпринять радикальных мер, то АТС погубят Планету, сжигая кислород ее атмосферы. Дальнейшее усовершенствование ДВС в целях снижения токсичности до уровня существующих и будущих норм невозможно без увеличения стоимости их производства, а также дополнительного оборудования и эксплуатационных затрат. Поэтому настало время разумного компромисса между санитарными нормами с одной стороны и техническими возможностями с другой. Но такой компромисс не решит проблему в целом, а только снимет противоречия между производителями ДВС и законодателями, однако экологическая ситуация все равно будет катастрофически ухудшаться. При огромной численности транспортных средств с ДВС в мире и чудовищном потреблении ими кислорода атмосферы (до $10^{10}$ т в год) совершенно не имеет значения, на каком топливе работает ДВС: бензине, спирте, газе, дизельном топливе и даже водороде, так как расход кислорода для их сгорания примерно одинаков. В такой ситуации бесполезными окажутся все усилия специалистов по снижению токсичности ДВС путем применения катализаторов, дожигателей, присадок к топливу и тому подобных полиативных мер. Бесперспективными являются работы и по применению на транспортных средствах двигателей других конструкций (Ванкеля, Стиргинга, ГТД и пр.), работающих на углеводородах.

Преждевременна с точки зрения экономики и экологии идея перехода автомобиля на электротягу. По крайней мере до тех пор, пока не будет разработан источник энергии, способный конкурировать по энергоемкости с жидким топливом. Поэтому единственным решением проблемы на ближайшие 30...50 лет является применение КСУ с использованием, в частности, емкостных накопителей энергии.

Исходя из этого, правительствам всех стран нужно не ограничивать токсичные выбросы ДВС (это бесперспективное занятие), а ввести налог на расходуемый двигателем кислород. Ведь платим же мы за землю, воду, лес, являющимися такими же природными богатствами, как и кислород. Бесплатным кислород может быть только для жизнеобеспечения живых существ.

Более далекая перспектива — использование ДВС и топливных элементов, работающих на водороде и кислороде, полученных не из атмосферы, а из воды. Её запасы на Планете практически не ограничены и составляют 1,5 млрд км$^3$, что по количеству кислорода в ней равноценно его содержанию в атмосфере ($1{,}5 \cdot 10^{15}$ т). Тем более что вода практически не будет расходоваться, при работе таких двигателей результат сгорания выхлопа будет составлять только вода. В этом случае не будет иметь смысла ограничивать мощность двигателей и платить налоги на кислород. Однако пока способы разложения воды очень энергоемки и для получения 2 м$^3$ водорода и 1 м$^3$ кислорода (что примерно равноценно 1 л бензина) нужно израсходовать 14...15 кВт/ч электроэнергии. Что в 5...6 раз больше, чем затем может быть получено от двигателя внутреннего сгорания в виде механической энергии.

*Работа выполнена при поддержке проекта в рамках государственного задания вузам. Код проекта 2637.*

**Литература**

1. Морозов Г.П. Автомобиль и экология: взаимозависимые факторы // Мир транспорта. 2013. № 3 (47). С. 146—153.
2. Энхольм Э. Окружающая среда и здоровье человека. М.: Прогресс. 1980. — 233 с.
3. Чандлер Т. Воздух вокруг нас. Главные проблемы. М.: Знание. 1990. — 120 с.
4. Ашрафов Р.А., Оруджев Ю.И., Алиев А.Д., Султанов Х.С., Умудов С.У., Намазов А.С. Применение экологически чистых автомобильных бензинов с целью сохранения чистоты атмосферного воздуха в мегаполисах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 2—1. С. 8—11.
5. Варламов В.Н. Новые способы снижения токсичности автомобильных двигателей // Экологический вестник России. 2013. № 12. С. 23—25.
6. Замолодчиков Д.Г. Кислород — основа жизни // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76. № 3. С. 209—218.

## *Коротко о разном*

Весной 2015 г. "Фольксваген Коммерческие автомобили" выводит на рынок "Кэдди" четвертого поколения. За 11 лет модели предыдущих трех поколений разошлись по миру в количестве 1,5 млн единиц. Универсал повышенной вместимости, представленный как в коммерческом варианте ("Кастен", Комби"), так и в четырех пассажирских комплектациях ("Концептлайн", "Трейдлайн", "Комфортлайн" и "Хайлайн"), заинтересует максимально широкий круг покупателей. Версия для активного отдыха получила название "Кэдди Бич", также будет выпущена эксклюзивная ограниченная серия "Дженерейшн Фо". Разумеется, и в новом поколении будет доступна полноприводная трансмиссия "4-моушн".

В линейке новых двигателей TDI для европейского рынка представлен двухлитровый четырехцилиндровый силовой агрегат, для которого предусмотрено пять модификаций мощностью от 75 до 150 л.с. Специально оптимизированный вариант двигателя TDI мощностью 102 л.с. предназначен для наиболее экологичного — "Кэдди БлюМоушн". Он расходует всего 4,2 л дизельного топлива, выбрасывая 109 г диоксида углерода на километр. Но это не предел: для внутригородских грузовых перевозок предлагается "Кэдди Кастен БлюМоушн" с ограничителем скорости, благодаря которому он стал еще экономичнее — расходует менее 4 л и выбрасывает менее 100 г диоксида углерода. Дизели TDI мощностью 122 и 150 л.с. доступны в сочетании с полным приводом.

В линейке бензиновых двигателей представлены три силовых агрегата. Это четырехцилиндровый двигатель 1,2 TSI мощностью 84 л.с., литровый трехцилиндровый TSI мощностью 102 л.с. и топовая модель — четырехцилиндровый 1,4 TSI, развивающий 125 л.с. Также представлен новейший метановый двигатель 1,4 TGI, пришедший на смену исключительно популярному "Кэдди ЭкоФил". Этот турбированный силовой агрегат работает на сжатом природном газе еще более эффективно. По сравнению с 2-литровым предшественником он обладает большей мощностью, а благодаря турбокомпрессору демонстрирует хорошие динамические показатели, экономя при этом до 1,7 кг природного газа на 100 км. Таким образом, грузовая версия "Кэдди Кастен" с двигателем TGI расходует лишь 4,1 кг природного газа.

Все двигатели в зависимости от крутящего момента стандартно сопряжены с пяти- или шестиступенчатыми механическими коробками передач. В зависимости от мощности в качестве опции можно выбрать шести- или семиступенчатую коробку передач DSG. В сочетании с мощным бензиновым двигателем она используется в "Кэдди" впервые. Полный привод "4-моушн" доступен в комбинации шестиступенчатой механической коробки передач с двигателем TDI мощностью 122 л.с. или DSG с двигателем TDI 150 л.с. Двигатель и коробка передач дополняются ходовой частью, специально предназначенной для разных нагрузок. Ходовая часть включает в себя независимую подвеску передних колес и жесткую заднюю балку на листовых рессорах с амортизаторами. Установленные на обеих осях стабилизаторы уменьшают угол крена автомобиля и, наряду с рулевым управлением с электромеханическим усилителем, вносят свой вклад в точную и выверенную работу всей ходовой части.

Система контроля дистанции спереди "Фронт Эссист" при помощи радарного датчика распознает ситуации, когда расстояние до препятствий перед автомобилем сокращается до критических значений, и помогает уменьшить остановочный путь. Система предупреждает водителя об опасностях, подавая визуальные и звуковые сигналы, а также оказывая легкое воздействие на тормоз. При этом реагирует она в два этапа: на первом — с помощью визуальных и звуковых сигналов указывает на впереди идущие автомобили, которые начинают внезапно сбрасывать темп или движутся с низкой скоростью; тем самым она предупреждает об опасности столкновения. Одновременно автомобиль готовится к экстренному торможению: прижимаются тормозные накладки, и повышается чувствительность ассистента торможения. Если водитель не реагирует на предупреждение, на следующем этапе система обращает его внимание на опасность столкновения однократным и коротким воздействием на тормоз; при этом еще больше повышается чувствительность ассистента торможения. Если после этого водитель нажимает на педаль тормоза, тормозная система готова немедленно сработать на полную мощность. Если мощности торможения недостаточно, система самостоятельно повышает тормозное давление до необходимого уровня, чтобы остановить автомобиль, прежде чем тот достигнет препятствия. Кроме того, система имеет функцию "городского экстренного торможения". Если при движении на скорости до 30 км/ч водитель не заметил препятствие, система автоматически задействует тормоз и, в идеальном случае, сможет предотвратить столкновение.

Около 22 % всех аварий, сопряженных с травмами пассажиров, связаны со столкновением с несколькими препятствиями. Система торможения "мультиколлижн брейк" минимизирует риск развития событий по такому сценарию. После столкновения она автоматически начинает торможение, если сам водитель уже не в состоянии управлять автомобилем, что позволяет предотвратить последующие столкновения. Система активируется, если два независимых друг от друга датчика распознают аварию. В этом случае скорость автомобиля снижается постепенно с заданным замедлением до 10 км/ч. Водитель в любой момент времени может снова взять управление автомобилем в свои руки.

Все три функции тормозов находятся в так называемом режиме готовности. Водитель не может их деактивировать.

# Содержание


**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

**Козловский В.Н., Афиногентова Н.В., Дементьев С.А.** — Балльная оценка автопроизводителем эффективности деятельности фирменного сервиса . . . . . 1

**Карасев О.И., Вишневский К.О., Веселитская Н.Н., Едельнина А.А., Клубова М.А.** — Форсайт — инструмент определения приоритетов научно-технологического и инновационного развития в транспортном секторе . . . . . 4

АСМ-факты . . . . . 8

**КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Ганжа В.А., Безбородов Ю.Н., Ковалевич П.В.** — Универсальные транспортные средства . . . . . 10

**Кузнецов И.В., Сычев А.М.** — Процессы смесеобразования и сгорания в двигателе с расслоением заряда в цилиндре . . . . . 14

**Акимов В.С., Кулешов А.С., Марков В.А., Яковчук А.Ю., Йанхунен Т.Т.** — Двигатель z-engine: оптимизация впрыскивания и распыливания топлива . . . . . 17

**Савельев В.А.** — О "блокировании" подвески автомобиля силами сухого трения в листовой рессоре . . . . . 21

**Прохоров В.А.** — Мощный транзисторный ключ для силовой автомобильной электроники . . . . . 24

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АТС**

**Мелешин В.В.** — Результаты полунатурных испытаний структуры идентификаторов при определении параметров автомобиля . . . . . 26

**Коклин И.М., Потапенко М.С., Потапенко Е.С., Щендригин А.В.** — Опыт использования газомоторного топлива на легковом автомобиле . . . . . 28

**ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ**

**Савкин А.Н., Андроник А.В., Горунов А.И., Седов А.А.** — Анализ перспективных материалов в конструкциях легковых автомобилей . 31

**ИНФОРМАЦИЯ**

**Хортов В.П., Скворцов А.А., Гребенчиков А.П.** — Новый взгляд на токсичность ДВС . . . . . 37

Коротко о разном . . . . . 40



**Главный редактор Н. А. ПУГИН**

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**И.В. Балабин** — д-р техн. наук, **С.В. Бахмутов** — д-р техн. наук, **О.И. Гируцкий** — д-р техн. наук, **В.И. Гладков** — канд. техн. наук, **М.А. Григорьев** — д-р техн. наук, **А.С. Ковригин** — зам. генерального директора АСМ-холдинг, **Т.И. Ксеневич** (НИЦ "Русаен"), **С.М. Круглов** (МГМУ МАМИ), **Ю.А. Купеев** — д-р техн. наук, **Г.И. Мамити** — д-р техн. наук, **В.А. Марков** — д-р техн. наук, **А.В. Николаенко** — д-р экон. наук, **Э.Н. Никульников** — канд. техн. наук, **В.И. Пашков** (АМО "ЗИЛ"), **В.А. Сеин** — начальник аналитического отдела АСМ-холдинг, **Н.Т. Сорокин** — д-р экон. наук, **А.И. Титков** — канд. техн. наук, **В.Н. Филимонов** — ответственный секретарь

**Белорусский региональный редакционный совет:**
**В.Б. Альгин** (зам. председателя), **А.Н. Егоров, Ан.М. Захарик, Г.М. Кухаренок, П.Л. Мариев, Ю.И. Николаев, И.С. Сазонов, С.В. Харитончик**

**Информационный партнер АНО "НИЦ "Русаен"**



Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 16.01.2015. Подписано в печать 10.03.2015.
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 Машиностроение»**
Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Телефоны: (915) 412-52-56, (499) 269-52-98 (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.