ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва
"Машиностроение"

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 10 • октябрь • 2017

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СЕРВИСНОЙ СЕТИ АВТОПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Д-р техн. наук **КОЗЛОВСКИЙ В.Н., ШАНИН С.А., ДЕМЕНТЬЕВ С.А.**
Самарский ГТУ, КамАЗ, ВАЗ (846.278-44-60)

Актуализируется проблема развития дистанционных инструментов оценки эффективности и качества работы предприятий фирменной сети автосервиса. В работе представлена авторская методология оценки деятельности предприятий автосервиса, на основе корпоративной информации отражающей отчёт по производственной деятельности сервисной компании.

Ключевые слова: *автомобильная промышленность, мониторинг качества, деятельность предприятий автосервиса.*

Kozlovskiy V.N., Shanin S.A., Dementiev S.A.

METHODOLOGY OF CONTROL OF EFFICIENCY OF ACTIVITY OF BUSINESS NETWORK SERVICE ENTERPRISE ENTERPRISES

In the presented article the problem of development of remote tools of an estimation of efficiency and quality of work of the enterprises of a firm network of a car-care center is actualized. The author's methodology for evaluating the activities of car service enterprises is presented in the paper, based on corporate information reflecting the report on the production activities of the service company.

Keywords: *automotive industry, quality monitoring, car service enterprises.*

Современное автотранспортное средство — это уже не только традиционный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания, но также автомобиль с комбинированной энергоустановкой и электромобиль. Но даже традиционные конструкции становятся сложнее и "умнее": в их состав интегрируются электротехнические и электронные комплексы и системы, делающие АТС экологичнее, безопаснее, надёжнее. При этом даже простые операции, связанные с техническим обслуживанием и заменой расходных элементов, автомобильные корпорации настоятельно рекомендуют выполнять на сертифицированных предприятиях фирменной сервисно-сбытовой сети и поэтому заняты активным развитием региональных дилеров. Именно с качественным и надёжным сервисом продукции в процессе эксплуатации связано сегодня развитие конкурентоспособности автопроизводителей. При этом вопросы эффективного управления фирменной сервисной сетью становятся всё более важными.

Если посмотреть географию распределения и количество предприятий сервисной сети крупных автопроизводителей, то можно прийти к выводу, что в условиях постоянного количественного роста таких предприятий до нескольких сотен, а иногда и тысяч, на национальных рынках разных стран актуализируются проблемы налаживания эффективного контроля деятельности за предприятиями сервисно-сбытовой сети. Автопроизводителям приходится охватывать всё более глобальные рынки услуг колпаком тотальных проверок, осуществляемых собственными специалистами или экспертами сторонних организаций, приглашаемых на условиях аутсорсинга.

При заключении дилерских соглашений автопроизводители всегда подключают сервисные предприятия к своим корпоративным информационным системам в целях обеспечения постоянной связи, используемой для отчётности и оперативного управления. Но, как показывает практика, далеко не всегда информационные ресурсы работают на автопроизводителя с максимальной эффективностью. В первую очередь это касается вопросов обеспечения контроля деятельности сервисных предприятий. Возможности информационного контроля качества, экономической эффективности работы автодилеров сегодня, мягко говоря, не исчерпаны. Повышение эффективности контроля деятельности предприятий фирмен-

ного автосервиса через корпоративные информационные системы компаний автопроизводителей способно не просто сократить издержки на командировочные расходы специалистов аудиторов, развитие таких систем обеспечивает более оперативный и детализированный мониторинг состояния наиболее актуальных для автопроизводителя вопросов работы.

Рассматривая вопросы, связанные с качеством процесса технического обслуживания и ремонта автомобилей как ключевого бизнес-процесса автопроизводителя и автодилеров, можно прийти к выводу, что многие направления работы охвачены системой мониторинга. Например, процессы: поставки запасных частей для гарантийного и постгарантийного ремонта автомобилей; регистрации актов гарантийного обслуживания в корпоративной информационной системе; подготовки и переподготовки кадров автосервиса; финансово-хозяйственная деятельности предприятий; обеспечение предприятий фирменными стандартами, технологическими инструкциями и другими нормативными документами, необходимыми для работы; обеспечения специальным инструментом, оснасткой и др. Автопроизводители тщательно следят за всеми направлениями работы дилеров. Информация, поставляемая из сервисной сети для головных предприятий, имеет чрезвычайно важное значение.

Однако существуют некоторые специфические направления работы системы автотехобслуживания, о необходимости введения контроля качества работы по которым ведущие автопроизводители только задумываются. Между тем они весьма весомы с экономической точки зрения и существенно влияют на качество функционирования бизнес-процессов как у дилеров, так и у автопроизводителя. К таким направлениям относятся: возврат зарекламированных в процессе устранения гарантийных дефектов, изделий; устранение некоторых типов дефектов гарантийной эксплуатации без использования запасных частей; повторные ремонты по устранению одних и тех же дефектов на одних и тех же автомобилях; комплексные замены дорогостоящих узлов и агрегатов на гарантийных автомобилях. Отсутствие инструментов мониторинга выделенных направлений, подчас очень дорого обходится автопроизводителям. Нарушение в работе дилеров влияет на формирование недостоверной картины качества новых автомобилей в эксплуатации и мешает эффективности управления производством.

Цель данной работы — разработка и реализация системы мониторинга отдельных направлений работы автосервиса, которые существенно влияют на качество протекания процесса автотехобслуживания, а также сбора и обработки реальных данных о гарантийных дефектах автомобилей.

Когда речь заходит об организации систем контроля деятельности предприятий фирменной сети, логичными считаются разработка и реализация систем проверок, проводимых легально или методом тайных покупателей. Первые из выделенных моделей проверок заключаются в многоаспектном исследовании качества исполнения фирменных стандартов предприятиями дилеров. Их проводят группы экспертов либо с предприятий автопроизводителей, либо из сторонних консалтинговых агентств, работающих по договорам. Суть легальных проверок заключается в одобрении или неодобрении работы сервиса по всем лицензируемым направлениям и связанным с ними процессам: предпродажная подготовка, гарантийное, постгарантийное обслуживание и ремонт; наличие и использование специального инструмента, оснастки, оборудования; метрологическое обеспечение; стандартизация; кадровое обеспечение и т.д. Эксперты, проводя анализ текущего состояния организации, дают ей соответствующую оценку.

Нелегальные аудиты или проверки по методу тайных покупателей, могут проводиться также экспертными группами сотрудников головной компании или сторонней организации. В прицел проверки по данному методу в основном подпадают процессы, связанные с непосредственной работой сервисной организации с потребителями. При этом проверяющие по результатам проверки готовят отчёт, отражающий оценку соответствия деятельности автосервисной компании принятым корпоративным стандартам.

Информационно-аналитические средства контроля деятельности автодилеров работают в рамках корпоративных информационных систем и в основном касаются реализации регламентируемых процедур отчётности перед автопроизводителем по исполнению стандартов, результатам финансово-экономической, хозяйственной деятельности. Ответственные сотрудники подразделений дилера заполняют специализированные формы отчётности, а специалисты головной компании акцептуют отчётные документы.

Исследование работы комплекса предприятий сервисно-сбытовой сети автомобильных концернов практически всегда приводит к выводу о наличии тех или иных нарушений в работе некоторых из них. Нарушения могут быть несущественными, которые после консультаций с экспертами управления развития сервиса быстро разрешаются, или существенными, системными, которые связаны с организационно-техническими проблемами, а иногда и с халатностью менеджеров сервисных предприятий верхнего уровня.

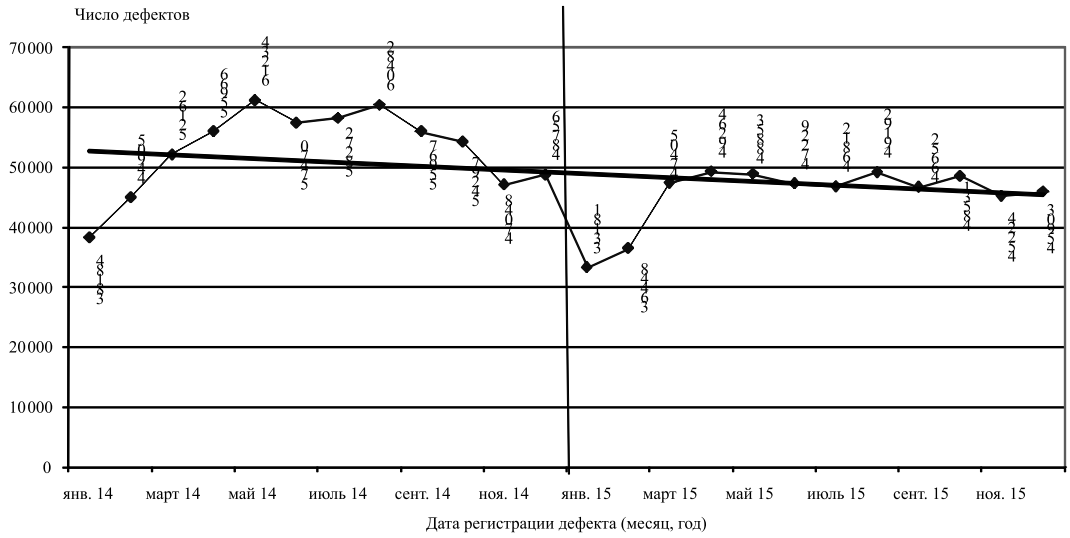


Рис. 1. Диаграмма регистрации дефектов, устранение которых сопровождается возвратом зарекламированных изделий на головное предприятие

Автопроизводители проводят мониторинг качества продукции в эксплуатации. Особый интерес для автоконцернов представляет гарантийный период, поскольку именно в этот период проявляются конструкторские или производственные дефекты и естественно существенный объём затрат на ремонт автомобилей в эксплуатации несёт автопроизводитель.

Прежде чем перейти к анализу проблемы мониторинга деятельности предприятий автосервиса по специфическим направлениям работы, а также рассмотрению предлагаемых решений в этой области, необходимо обозначить важный аспект: в условиях массового производства сложной высокотехнологичной техники существует понятие "стабильность качества продукции", которое определяет примерно равный уровень качества выпущенных автомобилей, достигаемый системными производственно-технологическими решениями.

Комплекс информационного взаимодействия с дилерскими центрами строится таким образом, чтобы обеспечить головному предприятию наилучшую оперативность при выявлении массовых и сложных дефектов, а также минимизацию рисков из-за отсутствия информации о резко возрастающей интенсивности отказов. При возникновении отказов в процессе эксплуатации автомобилей часть снимаемых при ремонте автомобилей дефектных изделий возвращается автопроизводителю для проведения исследований (возвращаемые изделия), а другие — утилизируются компаниями автосервиса (невозвращаемые изделия). Последние в соответствии с дилерским соглашением перед утилизацией должны храниться в изоляторе брака автодилера в течение 3—6 месяцев, когда к ним возможен доступ экспертов головного предприятия, для проведения дополнительных исследований причин возникновения дефектов. Такие исследования, как правило, не являются массовыми, а проводятся лишь время от времени, при резком превышении интенсивности отказов автомобилей в эксплуатации. Это означает, что сама возможность для проведения необоснованных гарантийных ремонтов на предприятиях сервисно-сбытовой сети существует, что естественно требует от автопроизводителя введения дополнительных контрольных операций по мониторингу. Некоторые результаты такого мониторинга как раз могут косвенно свидетельствовать о наличии нарушений в работе фирменной сети.

В качестве примера на рис. 1 представлена диаграмма, отражающая динамику регистрации на предприятиях автосервиса одного из крупнейших автопроизводителей дефектов, сопровождаемых ремонтом и возвратом дефектных изделий на головное предприятие в период 2014—2015 гг. Анализ диаграммы показывает, что существует явный тренд на снижение уровня дефектности автомобилей в эксплуатации, что говорит о росте качества продукции. В то же время диаграмма, отражающая динамику регистрации дефектов автомобилей, того же автопроизводителя, в тот же период, сопровождаемых ремонтом и самостоятельной утилизацией дефектных изделий, показанная на рис. 2, показывает обратный тренд: уровень дефектности растёт, а значит качество продукции ухудшается.

На основе результатов совместного анализа двух диаграмм можно сделать первичное предположение о возможном наличии нарушений на предприятиях фирменного автосервиса. Итак, у эксперта-аналитика появляется первичная информация об отклонениях в исследуемом процессе. Естественно, в данном случае требуется про-

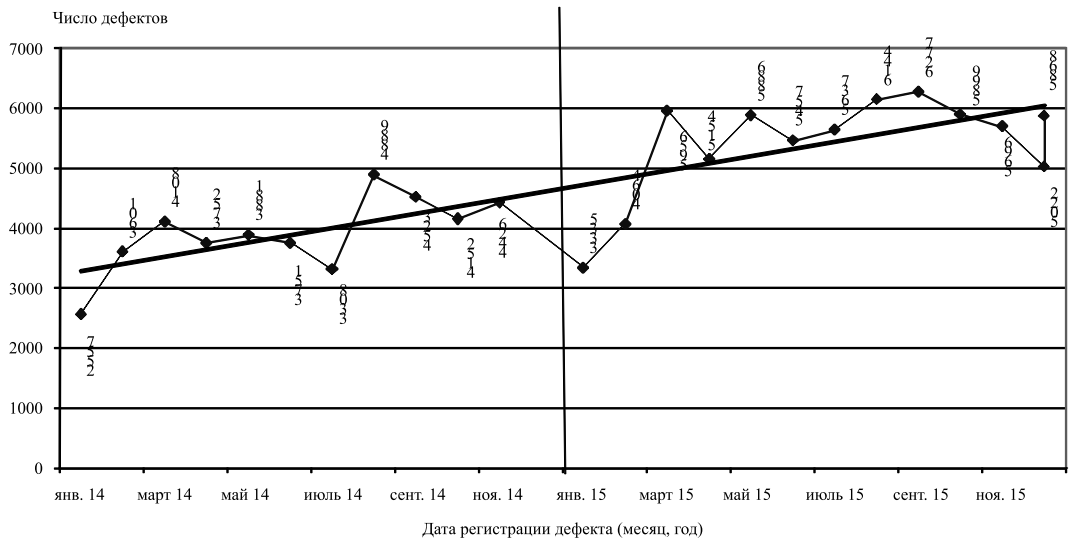


Рис. 2. Диаграмма регистрации дефектов, устранение которых не сопровождается возвратом зарекламированных изделий на головное предприятие

ведение более глубокого исследования причин проблемы и основных виновников. Поэтому следующим шагом в проведении аналитических работ должен быть анализ деятельности конкретных предприятий сервисной сети, на предмет выявления возможных отклонений в работе. Представленная на рис. 3 диаграмма распределения относительного уровня затрат для устранения гарантийных дефектов, не требующих замены запасных частей автомобилей, в разрезе целого ряда предприятий фирменного автосервиса ещё более конкретно вскрывает проблемы в сервисе.

Из анализа третьей диаграммы видно, что предприятия 1—6 имеют чрезвычайно высокий уровень затрат на устранение таких видов гарантийных дефектов, который в несколько раз превышает средний уровень затрат по всем предприятиям сети, равный 5,8. Очевидно, что на выделенной группе предприятий существуют проблемы, связанные с организацией процесса технического обслуживания и ремонта, причиной которых могут быть недостаточная квалификация персонала, низкий уровень производственной культуры, приписки вымышленных дефектов в акты гарантийного обслуживания, недостаточный уровень контроля качества работ производственной службы со стороны менеджеров верхнего уровня.

Далее, эксперт-аналитик может провести исследование, пример которого иллюстрирует рис. 4, где представлена диаграмма распределения среднего уровня затрат на устранение одного гарантийного дефекта, в абсолютных единицах, на предприятиях фирменного автосервиса. Её анализ явно высвечивает лидерство предприятий 1—15, несущих наиболее существенные затраты по устранению дефектов гарантийной эксплуатации автомобилей. Причём совместное рассмотрение рис. 3 и 4 вскрывает ту же группу из 6 предприятий, для которых характерно проведение дорогостоящих гарантийных работ по устранению дефектов, не требующих запасных частей, а также наибольшие средние затраты на устранение одного дефекта.

Далее, проводим детализированный мониторинг работы предприятий фирменного автосервиса по предъявляемым автопроизводителю затратам на один машинозаезд в гарантии (рис. 5). Анализ этой диаграммы довольно чётко определяет предприятия, где затраты на устранение дефектов в период гарантийной эксплуатации чрезвычайно высокие. В данном случае автопроизводитель несёт дополнительные финансовые потери от необоснованных ремонтов автомобилей, которые проводятся на данных предприятиях. Причём это все те же предприятия сервисно-сбытовой сети, которые были выделены при анализе рис. 3 и 4.

Но в своём анализе мы незаслуженно обошли предприятия, где уровень затрат на устранение дефектов ниже среднего по сети. Работа данных предприятий также опасна для автопроизводителя, как и работа первой выделенной группы. На предприятиях второй группы специалисты, скорее всего, под разными предлогами отказываются проводить гарантийный ремонт, что, естественно, самым негативным образом влияет на эксплуатационную эффективность продукции и удовлетворённость потребителей.

Может возникнуть вопрос: а причём тут качество ремонта или обслуживания автомобилей, если в сервисе это первично? Если нет прямых доказательств, свидетельствующих об отсутствии обоснованности ремонтов и затрат на устранение дефектов, зачем "кошмарить" автодилеров? Ответ очень простой. В системе автотехобслуживания

компаний автопроизводителей много предприятий, имеющих различные классификационные признаки. Есть компании первой группы, или категории *A*, — это крупнейшие дилеры, региональные центры с большим оборотом, крупными объёмами продаж автомобилей и их сервисного облуживания, есть компании второй (*B*), третьей (*C*) категорий и даже четвёртой, не имеющих квот на продажи, а осуществляющие только операции по техническому обслуживанию и ремонту. Но какой бы крупной не была сеть, как показывает практика, нарушение правил работы с одной или несколькими компаниями-дилерами или смягчение правил работы с ними мгновенно приводят к потерям автопроизводителя — имиджевым, финансовым и др.

У автопроизводителей не должно быть иллюзий в отношении партнеров. Не должно быть ситуаций, когда на выявленные несоответствия смотрят "сквозь пальцы". Качество автосервиса определяется не только соответствующим исполнением требований и стандартов ремонтных работ или технического обслуживания. Качество всех без исключений процессов автодилера должно быть прозрачным и системным. Такое качество работы дисциплинирует и автопроизводителя, и дилеров, обеспечивает доверие и возможность долгосрочного совместного развития. В обратном случае неизбежна деградация системы автотехобслуживания. Отсутствие должного контроля в первую очередь разлагает автодилеров, которые начинают халатно относиться к своим обязательствам. Как следствие, такие предприятия не выживают в условиях конкурентного рынка, теряя сертификат соответствия.

В качестве ещё одной формы контроля предлагается аналитическая справка, актуализирующая вопросы гарантийного сервисного обслуживания конкретного автодилера. В качестве примера рассмотрим примерное содержание такой справки:

"Анализ деятельности предприятия № 23 по устранению 31 673 дефектов гарантийного об-

Рис. 3. Диаграмма распределения предприятий автосервиса по показателю уровня затрат на ремонт автомобилей без использования запасных частей

Рис. 4. Диаграмма распределения предприятий автосервиса по показателю уровня затрат на устранение одного дефекта

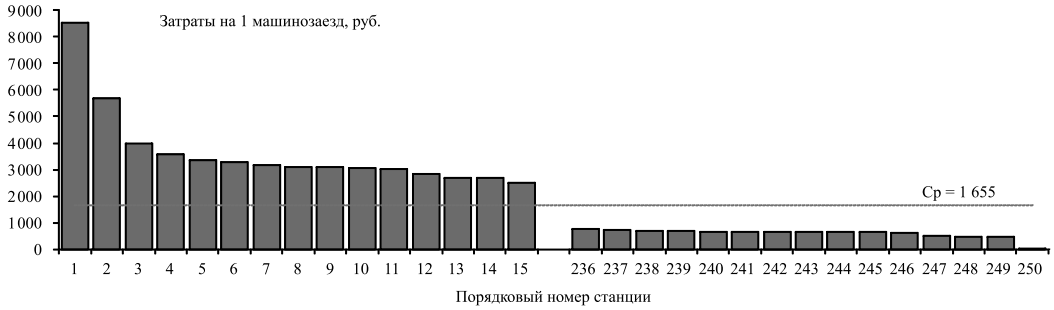


Рис. 5. Диаграмма распределения приведённых затрат на один машинозаезд

Дефект		Число дефектов			Затраты (тыс. руб.)		
Код	Наименование	Россия	СТО	%	Россия	СТО	%
1006033024000	Некачественное нанесение герметика, попадание масла в свечной колодец	7141	451	6,32	8134	993	12,21
1701131096000	Шум на III передаче	1937	157	8,11	8766	691	7,88
3701010179002	Занижено напряжение генератора	5000	392	7,84	7857	634	8,06
8118020000000	Дефект электровентилятора отопителя	4160	248	5,96	8597	583	6,78
8101012000001	Дефект пластмассовой заслонки 8101538	3784	219	5,79	6018	552	9,17
1701112060000	Износ шестерни I передачи	1691	126	7,45	6709	506	7,54
8127200025000	Не работает моторедуктор заслонки отопителя	4466	273	6,11	6311	422	6,68
1411020000000	Дефект контроллера	1268	102	8,04	3862	281	7,28
1130010000000	Не работает датчик расхода воздуха	2178	150	6,89	2614	182	6,97
1003020000000	Дефект прокладки головки блока цилиндров	1200	111	9,25	1464	146	9,99
3701010179001	Завышено напряжение генератора	1031	87	8,44	1588	139	8,76
1601190067000	Перекос втулки первичного вала коробки передач	731	119	16,28	713	125	17,47
2904185063000	Люфт шарового пальца передней подвески	3329	166	4,99	1749	124	7,07
1701174060500	Износ ступицы синхронизатора V передачи	104	35	33,65	356	124	34,69

служивания автомобилей за период с 01.11.2014 г. по 01.11.2015 г. на сумму затрат общих, равную 28 937 681,27 р., показывает необходимость проверки полноты и качества выполнения действующих предписаний, информационных писем, технических условий и технологических инструкций:

1. По 3740 заказ — нарядам на сумму 2 312 547,80 р. гарантийных ремонтов без использования запасных частей и материалов;

2. По 1797 заказ — нарядам на сумму 1 759 856,50 р. для определения причин повторных гарантийных ремонтов автомобилей;

3. По 655 заказ — нарядам на сумму 563 361,37 р. затрат проведения предпродажной подготовки;

4. По 1851 заказ — нарядам на сумму 1 285 864,68 р. соблюдения сроков хранения и наличия рекламационных актов 2120 изделий, не подлежащих возврату;

5. По 1232 заказ — нарядам на сумму 1 173 512,44 р. выполнения Инструкции "Достоверность информации, вносимой в заказ — наряды, акты гарантийного обслуживания";

6. По 9 заказ — нарядам на сумму 364 283,30 р. для определения причин возникновения многочисленных гарантийных ремонтов на одном автомобиле".

Следующим элементом анализа деятельности предприятий фирменного автосервиса должна быть справка о "специализации" в устранении отдельных видов дефектов. Практика показывает, что в некоторых случаях при заполнении актов гарантийного обслуживания специалисты автосервиса чаще используют определённые коды кодификатора дефектов автопроизводителя, что свидетельствует о недостаточном уровне их квалификации либо о наличии системных нарушений, связанных с необоснованным ремонтом автомобилей, съёмом и заменой дорогостоящих узлов и агрегатов.

В качестве примера, для того же предприятия № 23, приведём информацию предлагаемой аналитической формы (таблица). Признаком "специализации" является превышение более чем в 2 раза показателя рейтинга затрат общих в доле затрат по России.

Как видим, для рассматриваемого предприятия есть перечень дефектов, которые устраняются чаще, чем в среднем по сети, т.е. по ним имеются признаки "специализации". Например по первому дефекту, попадание масла в свечной колодец, доля дефектов устранённых на рассматриваемом предприятии составляет порядка 6,3 % от общего показателя, при этом уровень затрат в затратах сети по данному дефекту составляет 12,2 %, что достаточно существенно. В данном случае следует учитывать и то, что при устранении дефекта запасные части не используются, проводятся лишь работы с использованием расходных материалов. Автоматизированный контроль за расходованием таких материалов наладить довольно не просто, да это и не главное. Выполнение работ по устранению данного дефекта имеет существенную трудоёмкость, а проверить обоснованность ремонта — сложно. Вот и получается, что только с использованием предложенной аналитической формы можно доказать необоснованность проведённых ремонтов и снять с акцепта соответствующие затраты, понесённые автопроизводителем.

Таким образом, развитие аналитических форм мониторинга деятельности предприятий фирменной сети автопроизводителя от высокого уровня, охватывающего весь комплекс предприятий, до форм, детализирующих отдельные направления деятельности конкретного автодилера, позволяет реализовать дополнительный контроль качества и экономической эффективности деятельности сервисной сети.

В конце августа в московском выставочном центре "Крокус Экспо" прошло важное для специалистов автомобильной индустрии событие, объединившее свыше 30 000 профессионалов, — **XIII Международная выставка "Интеравто"**. Около 400 компаний из 18 стран мира представили здесь высокотехнологичную продукцию, пользующиеся спросом инновационные разработки, новые линейки товаров и последние достижения всех сфер автомобильного рынка: автокомпонентов, гаражного и сервисного оборудования, автохимии, автоэлектрики, охранных систем, автоаксессуаров и др.

Среди участников "Интеравто 2017" — такие известные компании, как "Автодок", ТД "Беру", "Бизнес Кар Рефиниш" (*"Nippon Paint"*), ТД "ГрасС", "Евродеталь", "Русские Краски", НПО "Сивик", НПТК "Супротек", "Станкоимпорт", "ТРИТОН-ИМПОРТ", "Троль-Авто", "Элемент", ABRO, AGA, "Аутель", "Экзальта Коатинг Системс", "Бриан Сторм", "Чикаго Пневматик", Грюн Баум", IMG, "Интерпамп груп", JTC, "Лентич", "Нордберг", "Новойл", "Россвик", "Солар Кард", "Тех-Россия" и др.

Крупные отечественные производители и дистрибьюторы из 36 регионов России продемонстрировали в действии и многочисленные решения из области авторемонта. Например, благодаря компании "Ареон" специалисты смогли ознакомиться с уникальным оборудованием для индукционного нагрева ферромагнитных материалов "Альбатрос". Линейка включает также оборудование для слесарного и кузовного технического обслуживания и ремонта легкового и грузового транспорта.

Помимо прочего, гостям выставки были представлены: семейство автоматических установок для обслуживания автоматических коробок передач ATF от российских представителей итальянского производителя "Спин Стл"; материалы для шиноремонта от аргентинской "Тирсо Гомес" — поставщика, хорошо знакомого мировому авторынку и пока новичку в России; инновационные решения, существенно расширяющие функционал и возможности автомобильного мультимедийного комплекса (в соответствии с отраслевыми стандартами автопроизводителей), от компании "Сторол Груп" и ее стратегического партнера "Когент Глобал Лимитед/Каска".

"Интеравто" ежегодно становится перспективной площадкой для выхода на российский рынок новых игроков. Среди компаний, которые впервые выбрали выставку для презентации своей продукции: ТД "Аккор", "Арсенал Сервис", "Атас Кемикл", ПК "Вортекс", "Евротек" (*"Otto Christ AG"*), "Гелена ХимАвто", "Карекс", ГК "Н.Ком", "Современные Технологии" (DKR), "ДиКом", сеть автомобильных моек самообслуживания "Мой-ка!", "Блючем Груп", "Эльпром Эльхово Груп", "Голден Снейл", "Мипа Картек Осккар", "Автокемикас МР", "Мидо Интернешнл Груп", "УошТек Клининг Технолоджи" и др.

Одним из дебютантов 2017 года также стал корейский производитель видеорегистраторов премиум-класса *"GNet"*, презентовавший устройства, отличительная особенность которых — система помощи водителю *ADAS* (безопасность на дороге).

Встречи и консультации на мероприятиях "Центра развития поставщиков автомобильной индустрии" внесли важный вклад в установление новых партнерских и деловых отношений между действующими и потенциальными поставщиками комплектующих, сырья, материалов, аксессуаров. В рамках тематических секций специалистами был актуализирован перечень востребованных комплектующих, сервисов и технологий.

Заметным событием деловой программы стала серия семинаров SGS SUD, посвященная последним обновлениям стандартов IATF 16949: 2016 и ISO 9001:2015. Деловые переговоры с конечными потребителями позволили участникам обсудить порядки и требования по организации поставок на предприятия.

В рамках сотрудничества с закупочной организацией автомобильных компонентов и запчастей "OES Rus" — базового предприятия Национальной Ассоциации Производителей Автомобильных Компонентов (НАПАК) — представители дилерских предприятий и постпродажных сервисов заключали контракты на поставку пробных партий продукции.

"Дни образования" — совместный проект "Интеравто" и Московского политехнического университета — сыграл заметную роль по привлечению в отрасль молодых специалистов. Представители ведущих компаний (автопроизводителей и дистрибьюторов) в формате открытых дискуссий рассказали старшеклассникам и студентам профессиональных училищ и профильных вузов об истории автомобильной промышленности и значении профессии инженера, новейших разработках в области машиностроения, технологических новшествах в области авто- и мотокомпонентов для спортивной техники, "умных" светодиодах, системах помощи водителю, светотехнике и многом другом.

"Интеравто" — значимое бизнес-мероприятие, объединяющее деловые встречи, эффективные переговоры, заключение выгодных контрактов. Приобретение на выставке новых деловых партнеров, потенциальных клиентов и ценных контактов позволяет каждому участнику проекта извлекать максимальную прибыль из своей профессиональной деятельности.

УДК 621.43

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОГО РАСПАДА МОЧЕВИНЫ В СИСТЕМАХ ВЫПУСКА ДИЗЕЛЕЙ

Д-р техн. наук **МАРКОВ В.А.**,
кандидаты техн. наук **МЯГКОВ Л.Л.**
и **МАЛАСТОВСКИЙ Н.С., БЛИНОВ А.С.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана

Разработка и совершенствование систем обработки выпускных газов в условиях ужесточения предельно допустимых значений выбросов токсичных веществ продолжает оставаться актуальной задачей. Использование методов вычислительной газовой динамики при проектировании подобных систем представляет значительную практическую ценность. В работе рассмотрена и реализована методика расчёта испарения и термического разложения мочевины в системах SCR (селективная каталитическая нейтрализация) в трёхмерной постановке на базе программного комплекса ANSYS Fluent. Проведено сравнение результатов с существующими экспериментальными данными. Сделан вывод о возможности применения разработанной методики при оценке эффективности систем каталитической нейтрализации отработавших газов двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *поршневой двигатель, отработавшие газы, оксиды азота, селективное каталитическое восстановление, впрыск мочевины, испарение, термическое разложение, методика расчёта.*

Markov V.A., Myagkov L.L., Malastowski N.S., Blinov A.S.

MODELING EVAPORATION AND DECOMPOSITION OF UREA SOLUTION FOR DIESEL EXHAUST SYSTEM

The key issue of a modern engine development is an improvement of aftertreatment systems under increasingly restrictive emission limits. Numerical simulations of the gas flow in such systems have a significant practical value during design process. The main objective of this paper is development of a model for predicting the processes of urea-water-solution vaporization and thermal decomposition in SCR systems based on ANSYS Fluent. The results of calculation were compared with existing experimental data. The developed model can provide a practical help for efficiency estimation of the SCR-catalyst system.

Keywords: *reciprocating engine, exhaust gases, nitrogen oxides, SCR, urea injection, evaporation, thermal decomposition, numerical model.*

В условиях все более ужесточающихся требований к предельно допустимому уровню выбросов токсичных веществ мероприятия по доводке рабочего процесса при проектировании перспективных двигателей зачастую оказываются недостаточными, поэтому сегодня широкое распространение получили системы *обработки* выпускных газов (СОВГ). Состав подобных систем определяется тем, какие именно токсичные компоненты необходимо нейтрализовать.

Современные сажевые фильтры с каталитическим покрытием (*CSF*), применяемые в СОВГ дизельных двигателей, производят эффективную очистку отработавших газов от твёрдых частиц и продуктов неполного сгорания. Среди систем нейтрализации оксидов азота, используемых на практике в настоящее время, можно выделить: накопительную *LNT*-систему (*Lean-NO_x Trap*), *LNC*-катализаторы (*Lean-NO_x Catalyst*), систему селективного каталитического восстановления (*Selective Catalytic Reduction*). Последняя получила наибольшее распространение ввиду высокой (свыше 90 %) степени нейтрализации, описываемой формулой 1 в табл. 1.

Отличительной особенностью систем SCR является добавление в отработавшие газы реагента — аммиака (NH_3), участвующего в каталитических реакциях восстановления NO_x до свободного азота (N_2) и воды (H_2O) [1]. (См. уравнения реакций 2—3 в табл. 1.)

Среди возможных вариантов введения восстановителя в СОВГ широкое практическое применение получило впрыскивание водного раствора мочевины ($CO(NH_2)_2$), обеспечивающее его безопасное хранение и обработку. В системах SCR процесс образования NH_3 может быть представлен в следующем виде (рис. 1): испарение воды, сублимация мочевины, её термолиз, гидролиз изоциановой кислоты [1].

Во избежание выработки токсичного реагента на каждом рабочем режиме двигателя в СОВГ подаётся необходимое количество раствора мочевины. Данная величина определяется соотношени-

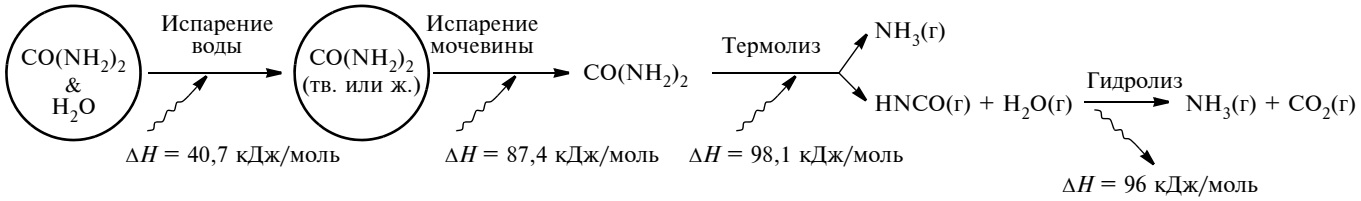


Рис. 1. Процесс термического разложения водного раствора мочевины

Таблица 1

№	Формула	Примечание
1	$\eta_{NO_x} = \left(1 - \frac{[NO_x]_{вх}}{[NO_x]_{вых}}\right) \cdot 100\ \%$	$[NO_x]_{вх}$ и $[NO_x]_{вых}$ — концентрация оксидов азота до и после восстановительного катализатора соответственно
2	$4NH_3 + 4NO + O_2 = 4N_2 + 6H_2O$	—
3	$2NH_3 + NO + NO_2 = 2N_2 + 3H_2O$	—
4	$4NH_3 + 3NO_2 = 3{,}5N_2 + 6H_2O$	—
5	$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \mathrm{div}(\rho \overline{W} \Phi) = \mathrm{div}(\Gamma_\Phi \cdot \mathrm{grad}\Phi) + S_\Phi$	Φ — произвольная зависимая переменная; ρ — плотность основного потока; t — время; $\overline{W}$ — вектор скорости основного потока; Γ_Φ — коэффициент обмена диффузии; S_Φ — источниковый член. Конкретный вид Γ_Φ, S_Φ зависит от физического смысла переменной Φ
6	$\frac{d\overline{W}}{dt} = C_D(\overline{W} - \overline{W}_к) + \overline{F}$	$\overline{W}_к$ — вектор скорости капли; C_D — коэффициент аэродинамического сопротивления; $\overline{F}$ — дополнительное ускорение от действия внешних сил
7	$Q(D_к) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{D_к}{X}\right)^n\right]$	$D_к$ — диаметр капель; X — наиболее вероятный диаметр капель; n — параметр распределения
8	$r_{дк} = B_0\Lambda$	$r_{дк}$ — радиус дочерних капель; $\tau_к$ — время распада; Λ — длина самой быстрорастущей из волн Кельвина—Гельмгольца; Ω — скорость её роста; $B_0 = 0{,}61$ и $B_1 = 1{,}73$ — константы размера [4] и времени [5] соответственно
9	$\tau_к = \frac{3{,}276 B_1 D_к}{\Lambda\Omega}$	
10	$\frac{dm_к}{dt} = \sum_i \frac{dm_i}{dt} = \sum_i A_к k_{c,\,i} \rho_\infty \ln(1 + B_{m,\,i})$	$m_к$ — масса единичной капли раствора; m_i — масса компонента i в капле; $k_{c,i}$ — коэффициент массопереноса компонента i; $A_к$ — площадь поверхности капли; ρ_∞ — плотность основного потока газа; $B_{m,\,i}$ — массовое число Сполдинга для компонента i
11	$k_{c,\,i} = \frac{\mathrm{Sh}\, D_{i,\,m}}{D_к}$	Sh — число Шервуда; $D_{i,\,m}$ — коэффициент диффузии пара
12	$B_{m,\,i} = \frac{Y_{s,\,i} - Y_{i,\,\infty}}{1 - Y_{s,\,i}}$	$Y_{s,\,i}$ — массовая доля пара компонента i у поверхности капли; $Y_{i,\,\infty}$ — массовая доля пара компонента i в основном потоке
13	$Sh = (2{,}0 + 0{,}6 Sc^{1/3} \mathrm{Re}_к^{1/2})$	Sc — число Шмидта; $\mathrm{Re}_к$ — число Рейнольдса для капли
14	$X_{s,\,i} = X_{l,\,i} \frac{P_{\mathrm{sat},\,i}}{P_\infty}$	$X_{s,\,i}$ — мольная доля компонента i у поверхности капли; $X_{l,\,i}$ — мольная доля компонента i внутри капли; $P_{sat,\,i}$ — давление насыщенных паров компонента i; P_∞ — давление в основном потоке газа
15	$Y_{s,\,i} = \frac{X_{s,\,i} M_i}{\sum_i X_{s,\,i} M_i}$	M_i — молярная масса компонента i
16	$P_{\mathrm{sat,\,вода}} = 61078\exp[17{,}2694(T_к - 273{,}16)/(T_к - 35{,}86)]$	—
17	$P_{\mathrm{sat,\,мочевина}} = \exp[29{,}9548 - (10876{,}1/T_к)]$	$T_к$ — температура капли
18	$Q_{конвекция} = Q_{нагрев} + Q_{испарение}$	$Q_{конвекция}$ — тепло, подводимое к поверхности капли в результате конвективного теплообмена; $Q_{нагрев}$ — тепло, затрачиваемое на прогрев капли; $Q_{испарение}$ — теплота парообразования
19	$m_к c_{рк} \frac{dT_к}{dt} = \alpha A_к (T_\infty - T_к) + \sum_i \frac{dm_i}{dt}(h_{исп,\,i})$	$c_{рк}$— теплоёмкость капли; T_∞ — температура основного потока; α — коэффициент теплоотдачи; $h_{исп,\,i}$ — удельная теплота парообразования компонента i
20	$\alpha = \frac{\lambda_f}{D_к} \frac{\ln(1 + B_{T,\,i})}{B_{T,\,i}} (2{,}0 + 0{,}6 \mathrm{Pr}^{1/3} \mathrm{Re}_к^{1/2})$	λ_f — коэффициент теплопроводности газа вблизи поверхности капли; $B_{T,\,i}$ — коэффициент теплообмена Сполдинга для компонента i; Pr — число Прандтля газовой фазы
21	$T_f = T_к + (T_к - T_\infty)/3$	—
22	$Y_{f,\,i} = Y_{s,\,i} + (Y_{s,\,i} - Y_{\infty,\,i})/3$	—
23	$\frac{dm_к}{dt} = \sum_i \frac{dm_i}{dt} = \sum_i \varphi_i \frac{\pi D_к \lambda_\infty}{C_{p,\,\infty}} (2{,}0 + 0{,}6 \mathrm{Pr}^{1/3} \mathrm{Re}_к^{1/2}) \ln(1 + B_{T,\,i})$	$C_{p,\,\infty}$ — теплоёмкость основного потока газа; φ_i — объёмная доля i-го компонента в капле; λ_∞ — коэффициент теплопроводности основного потока газа

№	Формула	Примечание
24	$CO(NH_2)_2 = NH_3 + HNCO$	—
25	$HNCO + H_2O = NH_3 + CO_2$	—
26	$r_{термолиз} = k_{термолиз}[CO(NH_2)_2]$	r_j — скорость реакции; k_j — константа скорости реакции; ΔH_j — тепловой эффект реакции, (кДж/моль); A — предэкспоненциальный множитель; E_a — энергия активации; R — универсальная газовая постоянная
27	$k_{термолиз} = A\exp(-E_a/RT) = 4855\exp(-23000/RT)$	
28	$\Delta H_{термолиз} = +98{,}1$	
29	$r_{гидролиз} = k_{гидролиз}[H_2O][HNCO] = k'_{гидролиз}[HNCO]$	
30	$k'_{гидролиз} = A\exp(-E_a/RT) = 2{,}5 \cdot 10^5\exp(-6{,}222 \cdot 10^7/RT)$	
31	$\Delta H_{термолиз} = -96$	
32	$\eta_{NH_3} = \dfrac{G_{NH_3}}{G^0_{NH_3}}$	η_{NH_3} — степень распада мочевины; G_{NH_3} — расход аммиака через исследуемую плоскость; $G^0_{NH_3}$ — расход аммиака при полном распаде впрыскиваемой мочевины. Величина $G^0_{NH_3}$ определяется количеством впрыскиваемого вещества и в рассматриваемом случае составляет $7{,}3 \cdot 10^{-5}$ кг/с

ем концентраций NH_3 и NO_x, обеспечивающим требуемую степень нейтрализации. Следовательно, разрабатываемые конструкции СОВГ должны гарантировать полное испарение впрыскиваемого вещества до входа в катализатор, а также равномерное распределение реагента по его объёму [1]. При этом использование методов вычислительной газовой динамики для таких задач является актуальным и представляет значительную практическую ценность.

Математическая модель

Для моделирования процесса впрыска и распада водного раствора мочевины в потоке отработавших газов использовался подход Эйлера—Лагранжа [2]. В этом случае сплошная среда рассчитывается с применением осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса, которые можно представить в виде закона сохранения, описываемого обобщённым дифференциальным уравнением (формула 5) [3]. Для замыкания этой системы уравнений используется *Realizable k—e* модель турбулентности [2]. Составляющие дисперсной фазы — капли водного раствора мочевины, определяются в Лагранжевых координатах (формула 6) [2]. Сопряжение между основным потоком и дискретными каплями раствора осуществляется в результате решения уравнений обмена: импульса, массы и энергии. В *"Ansys Fluent"* этот подход реализован в модели *DPM (Discrete Phase Model)*. В данной работе в отношении дисперсной фазы приняты допущения об однородности температурного поля внутри капли и о сферичности её формы (рис. 2).

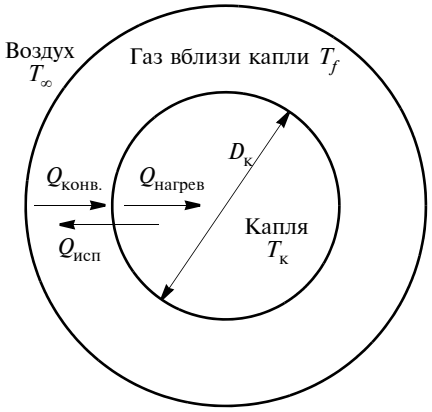


Рис. 2. Тепловой баланс капли

Моделирование впрыска

Распределение по диаметру (формула 7) в виде функции Розина—Рамлера (Q) [3] и скорость начальных капель на выходе из форсунки задаются непосредственно по экспериментальным данным.

Процесс вторичного распада капель в модели DPM описывается с помощью соответствующих подсеточных моделей (*Secondary breakup models*) [2]. В данной работе используется модель распада, основанная на волновом анализе устойчивости струи (*Wave Breakup Model*). Разность скоростей между каплей и окружающим её газом обусловливает действие на неё аэродинамической силы лобового сопротивления. Это приводит к возникновению на периферии капли касательных напряжений, появлению сдвигающих сил и, как следствие, волн Кельвина—Гельмгольца [4]. Размер дочерних капель (формула 8) и время распада

(формула 9) определяются скоростью роста и длиной этих волн.

Тепломассообмен

Моделирование тепломассообмена капель водного раствора мочевины осуществляется с помощью модели *Multicomponent Particle Definition* [2].

Процесс испарения капли раствора может быть условно разделён на две стадии: испарение воды, испарение мочевины [6]. Данная последовательность обусловлена более низкими значениями давления насыщенных паров $CO(NH_2)_2$. Существенный вклад в процесс массопереноса оказывает направленный от капли конвективный поток паровоздушной смеси (Стефанов поток) [1]. Для учёта данного явления используется предусмотренная в "*Ansys Fluent*" конвективно-диффузионная модель испарения [2], согласно которой скорость испарения определяется в соответствии с уравнением 10 (входящий в неё коэффициент массопереноса — по формуле 11). Число Шервуда при определении коэффициента массопереноса рассчитывается в соответствии с уравнением 13 Ранца—Маршала [7].

По мере испарения воды с капли вблизи её поверхности возрастает концентрация мочевины [1], что способствует снижению скорости дальнейшего испарения воды. В рамках рассматриваемой модели изменение мольной (формула 14) и массовой (формула 15) доли компонентов раствора на поверхности капли определяется в соответствии с законом Рауля. Давления насыщенных паров воды и мочевины [8] приведены в уравнениях 16 и 17. В соответствии с уравнением теплового баланса (формулы 18 и 19) определяется изменение температуры капли (рис. 2) [2]. Коэффициент теплоотдачи, с учётом влияния Стефанова потока, вычисляется по критериальной зависимости (формула 20) [9].

Температура газа (формула 21) вблизи поверхности капли (рис. 2), при которой вычисляются его теплофизические свойства для тепло- и массообмена, а также массовая доля испаряющихся компонентов (формула 22) в этой области определяются с использованием правила 1/3 [10]. При достижении точки кипения массообмен определяется в соответствии с уравнением 23 [2].

Термолиз и гидролиз мочевины

Реакция термолиза мочевины представляет из себя сложный химический процесс, сопровождающийся образованием промежуточных побочных продуктов: аммелина, аммелида, меламина, циануровой кислоты [1]. В данной работе используется общепринятое допущение об одностадийности протекания данной химической реакции (уравнение 24), в результате которой образуются молекулы аммиака и изоциановой кислоты (HNCO) [1]. В результате гидролиза изоциановой кислоты (уравнение 25) образуется аммиак и углекислый газ [1].

Скорости химических реакций вычисляются в соответствии с законом действующих масс (формулы 26 и 29). Кинетические параметры в уравнениях Аррениуса (формулы 27 и 30) при определении констант скоростей, а также тепловой эффект реакций (формулы 28 и 31) приведены множеством авторов [6, 11—14].

Верификация математической модели

Оценка достоверности математической модели впрыска, испарения и термического разложения водного раствора мочевины осуществлялась в соответствии с данными экспериментальной работы [15]. Расчётная область (рис. 3) представляет собой теплоизолированную трубу диаметром 300 мм и длиной 6,2 м, в центре которой установлена пневматическая форсунка. Впрыск осуществляется в направлении основного потока.

На первом этапе исследования для верификации области распространения струи проведено численное моделирование впрыска воды. Величина массового расхода составляет 0,00183 кг/с, давление впрыска — 2 бара. Распределение по диаметру в виде зависимости Розина—Рамлера (рис. 4) и скорость начальных капель на выходе из

Рис. 3. Исследуемая область

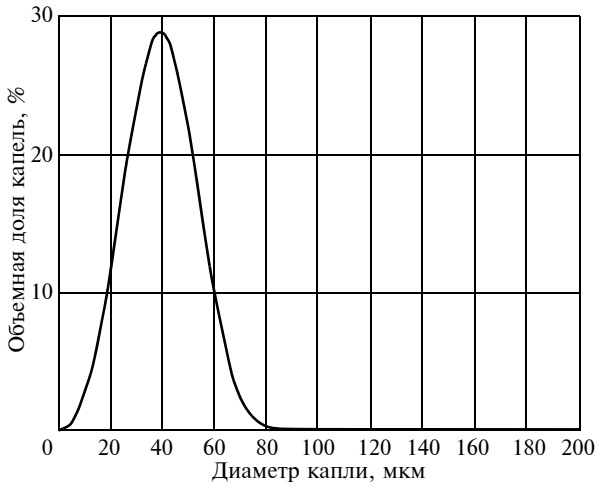


Рис. 4. Дифференциальная кривая закона Розина—Рамлера

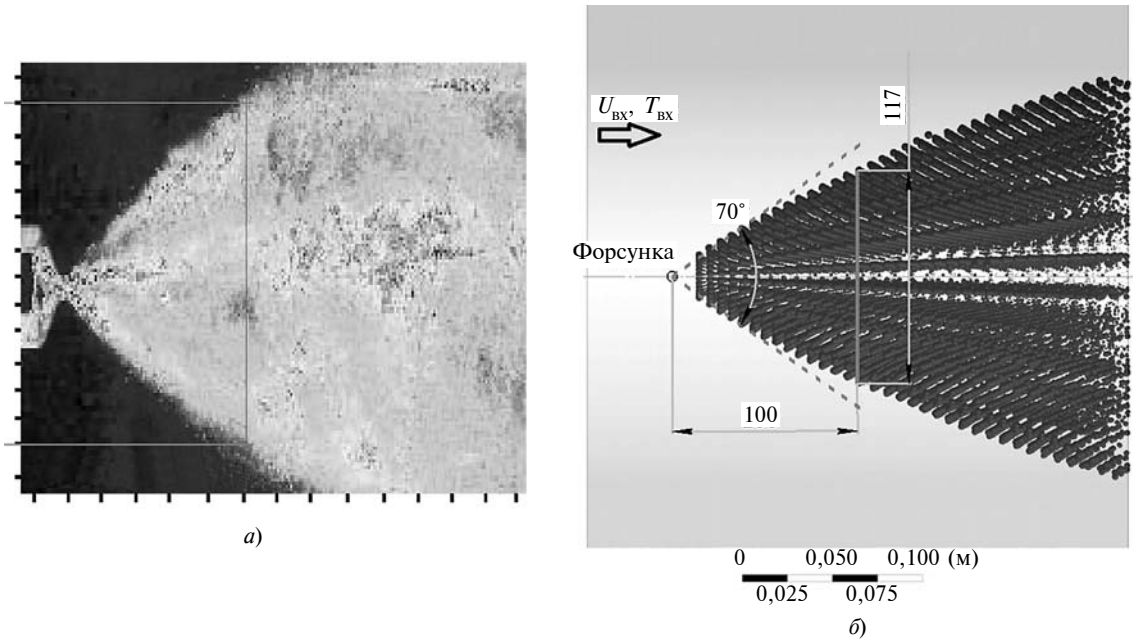


Рис. 5. Распространение струи жидкости:

а — результаты эксперимента работы [15]; *б* — визуализация результата численного моделирования струи ($U_{вх}$ = 5,4 м/с, $T_{вх}$ = 293 К)

форсунки приведены в табл. 2; скорость поступающего воздуха при температуре 293 К — в табл. 3. Полученные в ходе моделирования значения ширины струи на расстоянии 100 мм от места положения форсунки (рис. 5) были сопоставлены с экспериментальными данными. Сравнительный анализ приведённых ниже величин указывает на хорошее согласование результатов.

Таблица 2

Показатели первичного распада струи	Экспериментальные данные
Диаметр капель, мкм:	
минимальный	2
средний	44
максимальный	200
Параметр распределения	3,2657
Скорость начальных капель, м/с	10,6

Таблица 3

Скорость газа, м/с	Ширина струи, мм	
	Эксперимент	Моделирование
1,3	135	132
5,4	120	117
12,2	105	100

Таблица 4

Температура, К	Скорость, м/с		
573	6,6	9,0	—
623	6,4	9,1	10,8
673	6,0	8,3	10,8

Для верификации математической модели испарения и термического разложения $CO(NH_2)_2$ в направлении основного потока впрыскивается 40%-ный водный раствор мочевины. Величина массового расхода составляет 0,00033 кг/с, давление впрыска — 2 бара. Экспериментальные данные первичного распада струи принимаются в соответствии с табл. 1. Скорость и температура поступающего воздуха приведены в табл. 4.

В экспериментальной работе опубликованы данные о степени распада раствора мочевины (формула 32), определяемые в трёх отмеченных плоскостях (*A*, *B*, *C* на рис. 3) исследуемой области. Данные значения были сопоставлены с полученными в ходе численного моделирования результатами (рис. 6). Визуализация результатов численного моделирования для случая со следующими параметрами поступающего воздуха: температура 623 К, скорость 6,4 м/с представлена на рис. 7.

В соответствии с приведёнными на рис. 6 результатами расчётов повышение температуры поступающего воздуха способствует существенному увеличению степени распада мочевины. Это обусловлено интенсификацией процессов тепломассообмена между дисперсной фазой и основным потоком газа, а также увеличением скоростей соответствующих химических реакций (урав-

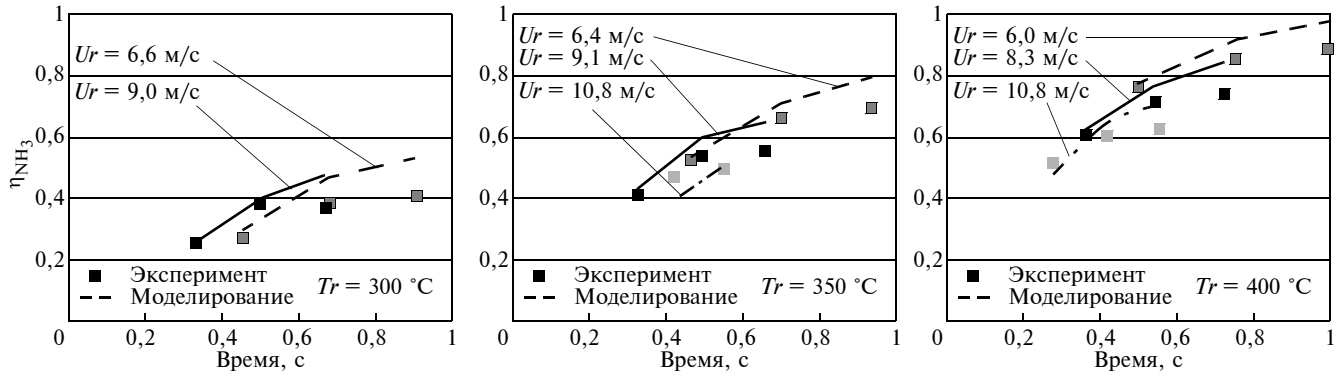


Рис. 6. Сравнение полученных результатов с экспериментом

нения 24 и 25). Следует отметить, что особенно чувствительна к температурным изменениям реакция гидролиза изоциановой кислоты. Скорость её протекания при $T_г \leq 300$ °C пренебрежимо мала в сравнении с реакцией термолиза и практически не оказывает влияния на величину степени распада (формула 32).

Противоположная ситуация наблюдается относительно скорости поступающего воздуха. С её увеличением уменьшается время пребывания капли в исследуемой области и, как следствие, временной интервал, отведённый для процессов испарения и термического разложения капель.

В результате сравнительного анализа полученных данных можно сделать следующие выводы: полученные в ходе численного моделирования данные демонстрируют приемлемое согласование с экспериментальной работой; увеличение температуры основного потока и времени пребывания капель в исследуемой области способствует повышению степени распада мочевины; рассматриваемая модель может быть использована при дальнейшей оценке местоположения форсунки в системах SCR, обеспечивающее полное испарение и разложение впрыскиваемой мочевины до входа в катализатор.

Влияние структуры потока

Структура основного потока оказывает существенное влияние на процессы распада и испарения струи. Его турбулизация способствует интенсификации указанных процессов, что особенно актуально в условиях ограниченного монтажного пространства систем SCR. Как показывают многочисленные исследования [16—19], применение статических завихрителей является действенным способом, позволяющим уменьшить потребную длину участка системы, необходимого для полного испарения мочевины. Кроме того, их использование обеспечивает интенсивное перемешивание реагента с основным потоком и равномерное его распределение на входе в катализатор. Недостатком их применения является увеличение газодинамических потерь в СОВГ. Поэтому выбор оптимальной конструкции, эффективно выполняющей свои функции с минимальным газодинамическим сопротивлением является важной оптимизационной задачей.

В данной работе рассматриваются две конструкции завихрителя, устанавливаемые до форсунки (рис. 8). Один из них (*Mix 1*) разрушает структуру потока (рис. 9, *а*), а другой (*Mix 2*) создает интенсивное вихревое движение (рис. 9, *б*).

Оценка эффективности применения статических завихрителей осуществлялась по результатам расчёта степени распада (формула 32) раствора мочевины в трёх отмеченных плоскостях (*A*, *B*, *C* на рис. 3) исследуемой области. Полученные

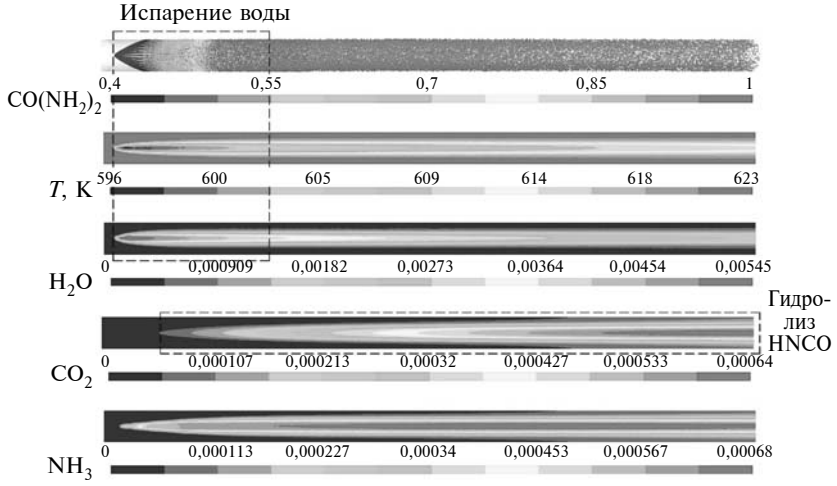


Рис. 7. Визуализация результатов численного моделирования ($T_г$ = 350 °C, $u_г$ = 6,4 м/с)

результаты численного моделирования (рис. 10) демонстрируют увеличение степени распада мочевины в случае применения статических завихрителей. Как уже отмечалось ранее, это обусловлено интенсификацией процессов вторичного распада и испарения капель посредством турбулентных вихрей основного потока. Ввиду малых скоростей поступающего воздуха, а соответственно и турбулизации потока, отмечается относительно небольшое приращение степени распада. Завихритель *Mix 2*, осуществляя закрутку основного потока, увеличивает длину пробега капли в исследуемой области. В результате увеличивается время, доступное для процессов испарения и термического разложения. Завихритель *Mix 1*, создавая ощутимые изменения структуры потока лишь в непосредственной близости от себя, демонстрирует меньшие изменения в величине степени распада.

В результате сравнительного анализа полученных данных можно сделать следующие выводы: применение статических завихрителей позволяет снизить потребную длину участка для преобразования впрыскиваемой мочевины в аммиак; осуществление закрутки основного потока обеспечивает больше времени для процессов испарения и термического разложения мочевины.

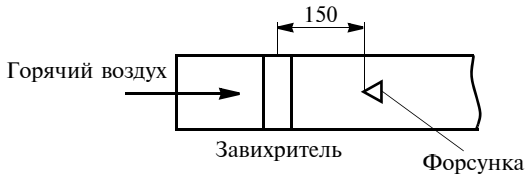


Рис. 8. Местоположение завихрителей

Рис. 9. Структура основного потока с установленными завихрителями

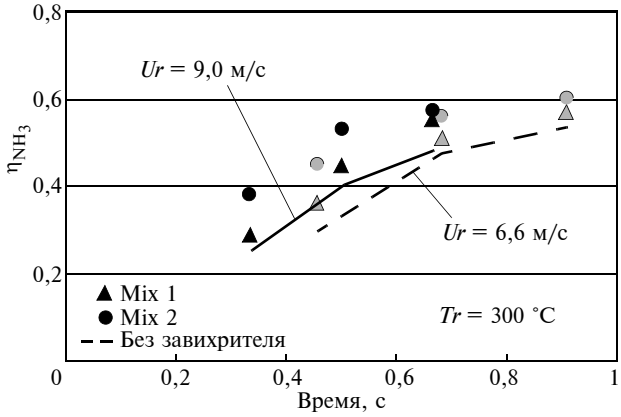


Рис. 10. Степень распада мочевины с применением и в отсутствии завихрителей

Литература

1. Nova I.; Tronconi E. Urea-SCR Technology for deNOx After Treatment of Diesel Exhausts. New York, NY: Springer, 2014. 716 p.
2. ANSYS Fluent Theory Guide URL: https://support.ansys.com/AnsysCustomerPortal/en_us/Knowledge+Resources/Online+Documentation/Current + Release (дата обращения 15 января 2017).
3. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. — 720 с.
4. Reitz R.D. Mechanisms of Atomization Processes in High-Pressure Vaporizing Sprays // Atomization and Spray Technology. 1987. Vol. 3. P. 309—337.
5. Liu A.B., Mather D. and Reitz R.D. Modeling the Effects of Drop Drag and Breakup on Fuel Sprays. SAE Technical Paper 930072. SAE. 1993.
6. Koebel M., Elsener M. and Kleemann M. Urea-SCR: a promising technique to reduce NOx emissions from automotive diesel engines. Catalysis Today. 59: 335—345, 2000.
7. Ranz W.E., Marshall W.R. Evaporation from Drops, Part I // Chem. Eng. Prog. 1952. № 48(3). P. 141—146.
8. Ebrahimian V., Nicolle A., Habchi C. (2012) Detailed modeling of the evaporation and thermal decomposition of urea-water solution in SCR systems. AIChE J. 58: 1998—2009.
9. Sazhin S.S. Advanced Models of Fuel Droplet Heating and Evaporation // Progress in Energy and Combustion Science. Elsevier Science. 2006. № 32. P. 162—214.
10. Sparrow E.M. and Gregg J.L. The variable fluidproperty problem in free convection. Trans. ASME 80, 1958.
11. Rota R., Antos D., Zanoelo E.F. and Morbidelly M. Experimental and modeling analysis of the NOxOUT process. Chem. Engr. Sci. 57. P. 27—38. 2002.
12. Yim S.D., Kim S.J., Baik J.H., Nam I., Mok Y.S., Lee J.H., Cho B., Oh S.H. Decomposition of urea into NH_3 for the SCR process. Ind Eng Chem Res. 2004; 43: 4856—4863.
13. Schaber O.M., Colson J., Higgins S., Thielen D., Anspach B., Brauer J. Thermal decomposition (pyrolysis) of urea in an open reaction vessel. Thermochim Acta. 2004; 424: 131—14.
14. Birkhold F., Meinghast U., Wasserman P., Deutschmann O. Modeling and simulation of the injection of urea-water-solution for automotive SCR DeNOx systems. Applied Catalysis B: Environmental, 70 (2007): 119—127.
15. Kim J.Y., Ryu S.H., Ha J.S. Numerical prediction on the characteristics of spray-induced mixing and thermal decomposition of urea solution in SCR system, in: Proc. 2004 Fall Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division, Long Beach, California USA, 2004.
16. Park T., Sung Y., Kim T., Lee I., Choi G. and Kim D. 2014. Effect of static mixer geometry on flow mixing and pressure drop in marine SCR applications. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 6(1). P. 27—38.
17. Regner M., Östergren K. and Trägårdh C. 2006. Effect of geometry and flow rate on secondary flow and the mixing process in static mixers-A numerical study. Chemical Engineering Science, 61(18). P. 6133—6141.
18. Thakur R.K., Vial C., Nigam K.D.P., Nauman E.B. and Djelveh G. 2003. Static mixers in the process industries — a review. Chemical Engineering Research and Design, 81(7). P. 787—826.
19. Zhang X. and Romzek M. 2007. 3-D numerical study of flow mixing in front of SCR for different injection systems, SAE Technical Paper, 2007-01-1578. Pennsylvania: 4 SAE International.

УДК 629.113

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Д-р техн. наук **ДЬЯКОВ И.Ф.**
Ульяновский ГТУ (84 22 77-81-49)

Рассмотрены вопросы снижения шума от выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания. Дана схема конструкции глушителя, включающая три камеры (диссипативная, реактивная и активная), которые обеспечивают снижение шума с незначительными потерями мощности двигателя за счёт использования минеральной ваты, изготовленной из естественного каменного материала. Определены основные параметры глушителей и приведены сравнительные их данные различных автомобилей.

Ключевые слова: *глушитель, звукопоглощающий материал, коэффициент потерь давления, интерференция звуковых волн, объём глушителя.*

Dyakov I.F.

METHODS OF THE NOISE ABATEMENT OF THE EXPLOSION ENGINE'S EXHAUST

The article makes a review of issues of noise abatement from explosions engine's exhaust. There is a graphic pattern of bafle's hardware, it consists three inner tubes: dissipative, reaction-propelled and active. All of them provides the noise abatements but with little loss of engine out-of-work, with mineral cotton's using, which was made of natural rock material. Also, there is bafle's capacity ratings and comparative data for different cars.

Keywords: *attenuator, sound-absorbing material, pressure loss factor, sound-wave interference, volumetric capability of bafle.*

Известно, что уровень шума незаглушенной системы выпуска отработавших газов двигателя достигает 120...130 дБ(А). Причиной появления шума выпуска служит истечение газов, обладающих высокой внутренней энергией в выпускном трубопроводе. Существуют требования к снижению шума по межгосударственным и отраслевым стандартам: межгосударственный стандарт ИСО-14163: 1998 (рекомендуемый, не является руководством по проектированию глушителей) и действующий на территории России ГОСТ Р 51401—99 (ИСО 3744—94). Последний позволяет выбирать параметры и разрабатывать новые конструкции глушителей тремя путями. Во-первых, выравнивать колебания переменного давления, вызывающие шум, что достигается главным образом за счёт создания сопротивления течению потока газов в виде перегородок и больших объёмов расширительных камер в системе. Во-вторых, использовать звукопоглощающий материал, который может быть упакован в отдельные камеры, похожие по форме на резонансные. Центральная труба при этом должна быть выполнена перфорированной и расширяющейся по объёму. В-третьих, за счёт резонансного поглощения, основанного на использовании нескольких различных камер, предназначенных для устранения вначале основного шума двигателя, а затем высокочастотного.

Конструктивные особенности современных глушителей, устанавливаемых на транспортных средствах способствуют существенной потере мощности двигателя. Использование звукопоглощающего материала уменьшает сопротивление потоку газов, если перегородки расположены достаточно далеко друг от друга. Но это приводит к увеличению геометрических размеров глушителя. Кроме того, при эксплуатации поглощающий материал портится, а это требует перезарядки глушителя или его замены.

Известен способ глушения шума отработавших газов двигателя внутреннего сгорания при помощи гофрированного шланга, изготовленного из высококачественной нержавеющей стальной ленты с предохранительной оплеткой из нержавеющей проволоки, закрученной по винтовой линии. Такой глушитель обладает низкой эффективностью из-за отсутствия акустического фильтра и элементов звукопоглощения. Причём частота звуковых волн отработавших газов в широком диапазоне совпадает с частотой собственных колебаний гофрированного шланга: при нагреве происходит различное линейное расширение стальной ленты, что и вызывает резонанс глушителя. Это явление может оказаться достаточно сильным, и тогда необходимо учитывать поперечные моды колебаний, обращаясь к многомерному анализу.

Глушители шума, которые снижают энергию звука по принципам отражения, образуют три класса: реактивные, диссипативные (адсорбционные) и активные [1—3]. Хорошие результаты может дать резонансное поглощение звука, так как при нём сопротивление основному потоку газа мало, а потери мощности двигателя незначительны [4, с. 14].

Реализовать идею удалось в конструкции комбинированного глушителя, в котором эффективное глушение шума происходит за счёт рассеяния звуковой энергии в реактивной, активной и диссипативной камерах путём деструктивной интерференции звуковых волн и ослабления результирующей волны. Устройство (см. рисунок) включает корпус *2* с перегородкой, разделяющей его на реактивную *5*, активную *9* и диссипативную *14* камеры, сообщающиеся через перфорированные трубы, впускной перфорированный *1* и выпускной *13* трубопроводы. В реактивной камере большая часть ослабления шума не связана с поглощением звуковой энергии, а в активной камере снижение звука обеспечивается за счёт ин-

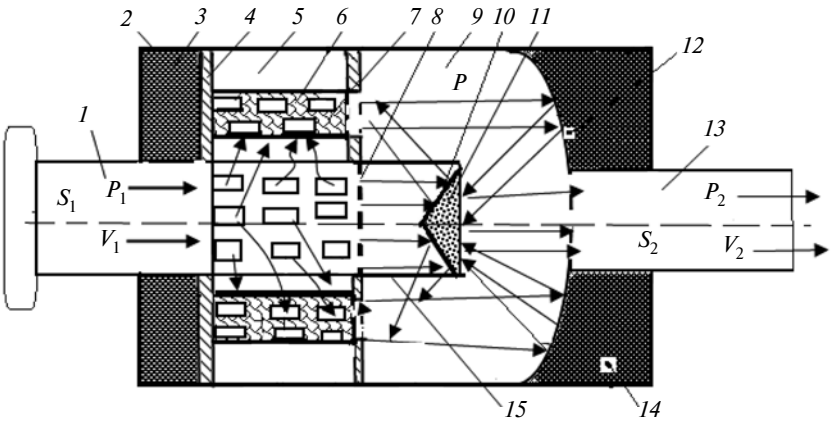


Схема комбинированного глушителя

терференционных эффектов, создаваемых звуком, генерируемым вспомогательным рефлектором звукового отражённого источника. В диссипативной камере обеспечивается широкополосное ослабление звука при относительно малых потерях давления частичным преобразованием звуковой энергии в тепловую посредством трения о поверхности рассекателя и диффузора.

Реактивная камера дополнительно содержит сплошную перегородку *4*, образуя тем самым кольцевую камеру *3* вблизи торца корпуса, заполненную звукопоглощающим материалом в виде минеральной ваты из природного каменного материала. Перфорированный конец впускного трубопровода и перфорированные трубки *6*, заполненные базальтовым волокном и размещённые вокруг впускного трубопровода, закреплены в реактивной камере между сплошной перегородкой и перегородкой с отверстиями *8*. На этой же перегородке посредством стоек *15* в активной камере установлен конусный рассекатель *10*, заполненный базальтовым волокном *11*. Он размещён соосно впускному трубопроводу, вершиной в сторону его перфорированного торца и имеет основание, соразмерное сечению трубопровода. Перегородка *12* между активной и диссипативной камерами вогнута по ходу потока газа (играет роль диффузора) и соединена с выпускным трубопроводом. А сама диссипативная камера (пространство между вогнутой перегородкой и торцом глушителя) заполнена звукопоглощающим материалом также из минеральной ваты плотностью 0,30 кН/м^3.

Удельное сопротивление продуванию изотропного поглотителя определялось по формуле № 1 (табл. 1). Звуковой газовый поток из входного трубопровода со щелями в торце и по окружности поступает в гофрированные трубопроводы с равномерно расположенными щелями через базальтовую проволоку и выходит под давлением p за время t по длине первой камеры x поток газов $p(x, t)$ — через щели с другой стороны в торцевой части трубопровода прямые газовые потоки обтекают конусный рассекатель, изготовленный под углом 45°, при этом газы разбиваются на отдельные струйки по осям x и y и взаимодействуют со струйками из перфорированного трубопровода, звуковые давления отдельных потоков газов $p(x, t)$ складываются, происходит взаимокомпенсация, отдельные газовые струи попадают на поверхность диффузора, векторы которых взаимодействуют со встречными газовыми потоками, тем самым образуют в диссипативной камере акустическое поле, создаваемое плоскими сферическими звуковыми волнами. Тогда, без учета потерь в системе, общее решение одномерного волнового уравнения, полученное методом бегущей волны — звуковое давление (метод Даламбера), — выражено уравнением № 2. Из уравнения № 3 Эйлера находим акустическую скорость частиц отработавших газов, а объёмная акустическая скорость в диссипативной камере выражается уравнением № 4.

Для того чтобы получить возможно большее глушение шума, необходимо подбирать длину выпускной трубы глушителя в зависимости от резонанса звуковой волны. Так как диссипативная камера имеет площадь переменного сечения по длине из-за сферической поверхности диффузора, то для акустической скорости звука справедливы соотношения № 5 (v_1 и v_2 — соответственно во входном и выходном сечениях). Для оценки эффективности подавления шума использовано выражение № 6 [2].

В активной системе диссипативной камеры реализуется принцип деструктивной (разрушающей) интерференции, т. е. наложения нескольких звуковых волн, при котором в разных точках диссипативной камеры получается ослабление результирующей волны. Для рассеяния собственных колебаний металлического торцевого кольца и сферического диффузора торцевые полости заполнены минеральной ватой, которая сжимается и расширяется в зависимости от звукового давления с вогнутой стороны диффузора. Частота, на которую реагирует резонатор, определяется формулой № 7.

Немаловажное значение для глушителя имеет его гидравлическое сопротивление — сопротивление движению газов, прохо-

Таблица 1

№	Формула	Примечание
1	$r = \frac{\xi}{d_в}\left(\frac{\rho_м^p}{\rho_{ат}}\right)^{3/2}$	ξ — вязкость газового потока; $d_в$ — средний диаметр волокон звукопоглощающего материала; $\rho_м^p$ — плотность поглощающего материала под давлением; $\rho_{ат}$ — плотность поглощающего материала при атмосферном давлении
2	$p(x, t) = (A_п^+ e^{k^+x} + A_о^- e^{k^-x})e^{\omega t} = A^+ + A^-$	$p(x, t)$ — звуковое давление в точке пространства с координатой x по длине глушителя в момент времени t; $A_п^+$, $A_о^-$ — амплитуды прямой и отраженной бегущих звуковых волн, т. е. соответственно в положительном и отрицательном направлениях оси Ox; ω — круговая частота; $k^+ = k/(1 + M)$; $k^- = k/(1 - M)$; M — число Маха, $M = V/c$, V — линейная скорость газового потока в трубе; c — скорость звука, $c = c_о\sqrt{T/T_о}$, $c_о$ — скорость звука при температуре окружающей среды $T_о$; T — абсолютная температура газового потока; $k = 2\pi f/c$ — волновое число; f — частота колебаний газового потока
3	$v_о(x, t) = (A^+ - A^-)S/\rho c$	S — площадь поперечного сечения глушителя; ρ — средняя плотность газового потока
4	$v(x, t) = (A^+ - A^-)/Z$	Z — импеданс газового потока, $Z = \frac{R}{S_о} + i\left(\frac{\omega p l'}{S_о} - \frac{pc^2}{\omega V}\right)$, R — активное удельное сопротивление горловины диссипативной камеры; $S_о$ — площадь поперечного сечения диссипативной камеры; p — давление внутри диссипативной камеры; l' — эффективная длина горловины диссипативной камеры
5	$v_1(x, t) = \frac{S_1}{\rho_1 c_1}(A_{п1}^+ - A_{о1}^-)$; $v_2(x, t) = \frac{S_2}{\rho_1 c_1} A_{п2}^+$	S_1, S_2 — площадь поперечного сечения диссипативной камеры соответственно для выходной и входной полостей
6	$\Delta L_{зв} = 10\lg(1 + k_A^2 - 2k_A\cos\varphi)$	k_A — коэффициент амплитуд, $k_A = A_{доп}/A_{исх}$; $A_{доп}$, $A_{исх}$ — соответственно амплитуды дополнительной от сферического диффузора и исходной звуковых волн из перфорированного трубопровода; φ — фазовый угол дополнительной звуковой волны от сферического диффузора
7	$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{lV}}$	S — площадь поперечного сечения горловины резонатора; l — длина горловины резонатора; V — объём резонатора
8	$\Delta p = \varsigma - \Delta\varsigma\frac{\rho\bar{v}_{ср}^2}{2}$	ς — коэффициент сопротивления глушителя, определяемый экспериментально; $\bar{v}_{ср}$ — средняя скорость газа во входном патрубке глушителя
9	$V\frac{d\gamma}{dt} = Q_1 - Q_2$	V — объём глушителя; γ — удельный вес отработавших газов; Q_1 — массовый поток отработавших газов, поступивший на вход глушителя; Q_2 — массовый выброс газов из выпускной трубы глушителя
10	$\frac{V}{RT}\frac{d\gamma}{dt} = Q_1 - Q_2$	R — постоянная Клапейрона; T — абсолютная температура отработавших газов внутри глушителя
11	$Q_1 = \mu S_1\sqrt{\frac{2g\bar{k}}{\bar{k}+1}\left(\frac{2}{\bar{k}+1}\right)^{\frac{2}{\bar{k}+1}}}\sqrt{\frac{p_1}{\vartheta_1}}$	μ — коэффициент истечения газа через сечение горловины глушителя; $\bar{k}$ — показатель адиабаты; ϑ_1 — удельный объём газа в сечении S_1
12	$Q_1 = k_3\frac{\mu S_1}{\sqrt{RT}}p_1$	$k_3 = \sqrt{\frac{2\bar{k}}{\bar{k}+1}\left(\frac{2}{\bar{k}+1}\right)^{\frac{2}{\bar{k}-1}}}$
13	$Q_2 = \mu S_2\sqrt{\frac{2g\bar{k}}{\bar{k}-1}\frac{p}{\vartheta_2}\left[\left(\frac{p_2}{p}\right)^{\frac{2}{\bar{k}}} - \left(\frac{p_2}{p}\right)^{\frac{\bar{k}+1}{\bar{k}}}\right]}$	ϑ_2 — удельный объём газа в сечении S_2
14	$Q_2 = \mu S_2 k_4\sqrt{\frac{p(p-p_2)}{RT}}$	—
15	$\frac{V}{RT}\frac{d\gamma}{dt} = k_3\mu\frac{S_1}{\sqrt{RT}}p_1 - k_4\mu S_2\sqrt{\frac{p(p-p_2)}{RT}}$	—
16	$\frac{V\gamma(t)}{RT} = \mu S_о(k_3 p - k_4\sqrt{p(p-p_2)})t + \frac{V\gamma(0)}{RT}$	—
17	$\frac{V}{RT}(\gamma(t) - \gamma(0)) = \mu S_о(k_3 p - k_4\sqrt{p(p-p_2)})t$	—

№	Формула	Примечание
18	$V = \dfrac{RT\mu S_o(k_3 p - k_4\sqrt{p(p-p_2)})t}{\gamma(t)-\gamma(0)}$	—
19	$V' = K\dfrac{V_h}{n}\sqrt{1/i}$	K — постоянный коэффициент (для двигателей грузовых автомобилей равен $35 \cdot 10^3$, для легковых $50 \cdot 10^3$); V_h — литраж двигателя; n — частота вращения коленчатого вала; i — число цилиндров

дящих через глушитель, которое рассчитывают по формуле № 8.

Глушитель работает в режиме неустойчивого динамического нагружения. На вход глушителя с сечением S_1 подается пульсирующий отработавший газ под давлением p_1 (больше критического), а на выходе с сечением S_3 под давлением p_2 (меньше критического). В этом случае истечение отработавших газов — докритическое. Тогда уравнение динамики движения газов в глушителе можно записать в виде формулы № 9.

При малом изменении температуры отработавших газов уравнение № 9 будет иметь вид формулы № 10. Для вычисления сверхкритического истечения отработавшего газа в глушитель можно использовать выражение № 11 [2], которое с помощью подстановки $\frac{1}{\vartheta} = \frac{p_1}{RT}$ можно привести к виду формулы № 12.

Массовый выброс отработавших газов Q_1 определяют по параметрам двигателя, а из уравнения № 12 находят площадь поперечного сечения S_1 трубопровода. Для докритического отвода отработавших газов массовый выброс из глушителя в атмосферу можно найти по формуле № 13, которую можно упростить и привести к виду формулы № 14. Подставив выражения № 12 и № 14 в уравнение № 10, получим выражение № 15.

Выполнив ряд преобразований и предположив, что удельный вес отработавших газов меняется в зависимости от нагрузочного режима работы двигателя, после интегрирования получим выражение № 16. Приведём его к виду формулы № 17, а затем к выражению № 18, из которого находим объём глушителя.

Для уточнения объёма по параметрам двигателя воспользуемся выражением № 19. Полученные результаты сравнивают между собой и производят корректировку параметров глушителя для данного двигателя. Если $V \geq (1{,}5...2{,}0)V'$, то глушитель соответствует данному двигателю, в противном случае необходима корректировка выражения (17).

Результаты расчёта основных параметров глушителей для различных автомобилей приведены в табл. 2. Как видим, у комбинированного глушителя для автомобиля УАЗ коэффициент потерь давления больше чем у штатного на 26 %. В конструкциях других глушителей размером 1024 × 768 мм коэффициент потерь давления составил $5{,}71 \cdot 10^{-2}$.

Диаметр поперечного сечения выпускного трубопровода должен быть согласован с длиной волны $\lambda = c/f$ газового потока. Если сечение мало по сравнению с λ, то звук частично отражается от открытого конца обратно в направлении источника звука, и звук, издаваемый наружу, будет слабее, чем при большом диаметре.

Расстояние между щелями в реактивной камере должно быть малым. Если щели отстоят друг от друга больше чем на 2...3 мм ее длины, то она излучает узкополосный шум синхронно. Эффективность подавления шума предлагаемого глушителя в условиях эксплуатации транспортных средств составляет до 20 % по сравнению с аналогами.

Выводы: предложенный глушитель обладает высокой степенью погашения шума, имеет высокую надёжность и приемлем при подборе параметров глушителя для всех грузовых автомобилей.

Таблица 2

Параметр	Характеристики глушителей автомобилей (штатный/комбинированный)		
	ЗИЛ-432930	КамАЗ-53229	УАЗ-3303
Рабочий объём двигателя, л	6,0	10,58	2,24
Объём глушителя, см^3	1356/2100	2952/3703	7864/6720
Коэффициент потерь давления	$6{,}6 \cdot 10^{-2}/5{,}3 \cdot 10^{-2}$	$9{,}52 \cdot 10^{-2}/5{,}3 \cdot 10^{-2}$	$4{,}2 \cdot 10^{-2}/5{,}3 \cdot 10^{-2}$
Потери мощности двигателя, кВт	6,8/4,4	7,7/5,6	2,6/2,9

Литература

1. ГОСТ 52231—2004. Внешний шум автомобиля в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения.
2. ГОСТ 31328—2006 (ИСО-14163:1998) Шум. Руководство по снижению шума глушителями.
3. Патент № 2306441 РФ F01N/08 Глушитель шума. Автор Кочетков О.С., Кочеткова М.О. Опубл. 20.09.2007
4. Филатов Н.В. Глушитель шума газового потока //Автомобильная промышленность № 1, 2016. С. 14.

УДК 629.113

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ[1]

Д-р техн. наук **ТАРАСИК В.П.**
Белорусско-Российский университет (+375-222-253645)

Предложены математические модели, предназначенные для оценки тягово-скоростных свойств и проходимости автомобиля в различных дорожных условиях с учётом и без учёта буксования ведущих колёс. Показано, что тяговая сила ведущего колеса приложена к его оси и компенсирует силу сопротивления корпуса автомобиля. Для автомобиля как целостной системы вращающий момент ведущего колеса является тяговым моментом автомобиля, сообщающим ему энергию движения.

Ключевые слова: *тягово-скоростные свойства автомобиля, проходимость, тяговый момент автомобиля, сила тяги ведущего колеса, динамический фактор автомобиля, упругое и внешнее скольжение ведущего колеса.*

Tarasik V.P.

MATHEMATICAL MODELING OF THE AUTOMOBILE RECTILINEAR MOTION

The mathematical models for the estimation of traction-speed performance and automobile passability in various road conditions with and without consideration for slippage of the driving wheels are proposed. It is shown that the driving force of the driving wheel is applied to its axis and compensates the resistance force of the car body. For an automobile as a complete system, the driving wheel torque is the driving torque of the automobile, giving it the energy of motion.

Keywords: *automobile traction-speed performance, passability, driving torque of the automobile, driving force of the driving wheel, automobile dynamic factor, elastic and external sliding of the driving wheel.*

Адекватную математическую модель объекта исследования можно построить лишь на основе использования законов сохранения энергии. Эти законы в полной мере реализуются применением уравнений Лагранжа второго рода или общего уравнения динамики (принцип Лагранжа—Даламбера). При построении модели прямолинейного движения автомобиля наиболее удобно использовать принцип Лагранжа—Даламбера, согласно которому алгебраическая сумма работ всех внешних сил и моментов, приложенных к системе, реакций неидеальных связей и сил инерции на возможных (виртуальных) перемещениях системы равна нулю.

Математическая модель движения автомобиля без учёта скольжения ведущих колёс

Построим вначале математическую модель прямолинейного движения автомобиля без учёта скольжения ведущих колёс. Учитывая принятые допущения относительно модели движения, введём следующие возможные перемещения компонентов системы: линейное перемещение центра масс автомобиля $\delta\vec{x}$, угловые перемещения ведомого $\delta\vec{\varphi}_{\text{к.н}}$ и ведущего $\delta\vec{\varphi}_{\text{к.в}}$ колёс.

Используя выражения (3) и (4) и учитывая при этом взаимные направления сил и моментов и соответствующих им векторов возможных перемещений, получаем общее уравнение динамики:

$$M_{\text{к.в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} - M_{f\text{н}}\delta\varphi_{\text{к.н}} - M_{f\text{в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} - F_h\delta x - \\ - F_{wx}\delta x - F_{\text{пр}}\delta x - F_{ja}\delta x = 0. \quad (13)$$

Установим соотношения между виртуальными перемещениями $\delta\varphi_{\text{к.н}}$, $\delta\varphi_{\text{к.в}}$ и δx при условии отсутствия внешнего скольжения колёс:

$$\delta\varphi_{\text{к.н}} = \delta x/r_{\text{к}0}; \quad (14)$$

$$\delta\varphi_{\text{к.в}} = \delta x/r_{\text{к}}. \quad (15)$$

Вычислим работу вращающего момента $M_{\text{к.в}}$ на возможном перемещении $\delta\varphi_{\text{к.в}}$ (виртуальную работу). Инерционные составляющие вращающего момента $M_{\text{к.в}}$ учтены в выражении приведённой силы инерции F_{ja} (см. формулы (1) и (2)), поэтому второе слагаемое формулы (6) опускаем. В результате получаем

$$\delta W_{\text{к.в}} = M_{\text{к.в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} = \frac{M_{\text{д}}u_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}}{r_{\text{к}}}\delta x. \quad (16)$$

Виртуальная работа моментов сопротивления качению $M_{f\text{н}}$ и $M_{f\text{в}}$ с учётом выражений (14) и (15)

$$\delta W_f = -\left(\frac{M_{f\text{н}}}{r_{\text{к}0}} + \frac{M_{f\text{в}}}{r_{\text{к}}}\right)\delta x = \\ = -\left(\frac{f_{\text{н}}R_{z\text{н}}r_{\text{д}}}{r_{\text{к}0}} + \frac{f_{\text{в}}R_{z\text{в}}r_{\text{д}}}{r_{\text{к}}}\right)\delta x, \quad (17)$$

где $f_{\text{н}}$, $f_{\text{в}}$ — коэффициенты сопротивления качению ведомых и ведущих колёс; $r_{\text{к}0}$, $r_{\text{к}}$ — радиусы качения этих же колёс.

Радиус качения ведомого колеса $r_{\text{к}0}$ определяется экспериментально [1]. В первом приближении его принимают равным статическому радиусу шины $r_{\text{ст}}$, информация о котором приводится в стандартах на шины. Радиус качения ведущего колеса $r_{\text{к}}$ определяют по формуле акад. Е.А. Чудакова

$$r_{\text{к}} = r_{\text{к}0} - \frac{M_{\text{к.в}}}{c_{\text{ш.о}}}\cos(\vec{M}_{\text{к.в}}, \vec{\omega}_{\text{к.в}}), \quad (18)$$

где $c_{\text{ш.о}}$ — коэффициент окружной жёсткости шины, Н · м/м.

У ведущего колеса направления векторов $\vec{M}_{\text{к.в}}$ и $\vec{\omega}_{\text{к.в}}$ совпадают, поэтому $\cos(\vec{M}_{\text{к.в}}, \vec{\omega}_{\text{к.в}}) = 1$. В результате $r_{\text{к}} < r_{\text{к}0}$, что приводит к снижению скорости автомобиля. Это явление называют *упругим скольжением колеса*, обусловленным окружной деформацией беговой дорожки и боковин шины под

[1] Окончание. Начало — см. АП, 2017. № 9.

действием вращающего момента $\vec{M}_{к.в}$. У тормозящего колеса вектор момента $\vec{M}_{к.т}$ противоположен вектору $\vec{\omega}_{к.т}$, поэтому $r_к > r_{к0}$, а скорость упругого скольжения положительна.

Значения коэффициентов $f_н$ и $f_в$ также существенно различаются. Сопротивление качению ведомого колеса обусловлено гистерезисными потерями при изменении радиальной деформации части беговой дорожки шины, контактирующей с опорной поверхностью дороги и находящейся под воздействием распределённой нормальной нагрузки. Этот же вид потерь характерен и для ведущего колеса. Однако при качении этого колеса возникают дополнительные потери, обусловленные упругим скольжением колеса. В результате коэффициент сопротивления качению ведущего колеса содержит две составляющие

$$f_в = f_н + f_{sy}, \tag{19}$$

где f_{sy} — составляющая, обусловленная потерями вследствие окружной деформации (упругого скольжения).

В [1] получено выражение для определения f_{sy}

$$f_{sy} = \frac{M_{к.в}^2}{R_{zв} r_к r_д c_{ш.о}}. \tag{20}$$

Необходимо также учитывать зависимость коэффициентов сопротивления качению $f_н$ и $f_в$ от скорости автомобиля. Известно несколько эмпирических формул. Одна из них имеет следующий вид [1]:

$$f_v = f_а[1 + (0{,}0216 v_а)^2], \tag{21}$$

где $f_а$ — коэффициент сопротивления качению при малой скорости.

В эту формулу вместо $f_а$ подставляют поочерёдно $f_н$ и $f_в$ и находят их значения при скорости $v_а$.

Значения $r_д$ и $r_{к0}$ различаются незначительно, причём $r_{к0}$ больше $r_д$ на 3...5 %. Поэтому в моделях обычно принимают $r_д = r_{к0}$.

Виртуальные работы сил сопротивления дорожного уклона F_h и воздуха F_{wx}

$$\delta W_h = -F_h \delta x = -m_а g \sin\alpha \delta x; \tag{22}$$

$$\delta W_в = -F_{wx} \delta x = -k_w A_л v_а^2 \delta x, \tag{23}$$

где k_w — коэффициент сопротивления воздуха; $A_л$ — лобовая площадь автомобиля.

Виртуальная работа силы $F_{jа}$

$$\delta W_j = -F_{jа} \delta x = -\delta_{п.м} m_а \frac{dv_а}{dt} \delta x. \tag{24}$$

Подставим выражения виртуальных работ (16), (17), (21)—(23) в формулу (13). Используя дополнительно выражение производной ds/dt, получаем систему дифференциальных уравнений для моделирования процесса прямолинейного движения автомобиля без проскальзывания ведущих колёс:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dv_а}{dt} &= \left[\frac{M_д u_{тр} \eta_{тр}}{r_к} - f_н R_{zн} - \frac{f_в R_{zв} r_д}{r_к} - m_а f \sin\alpha - \right. \\ &\left. - k_w A_л v_а^2 - F_{пр}\right] \Big/ (\delta_{п.м} m_а); \\ \frac{ds}{dt} &= v_а. \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

Интегрирование уравнений (25) позволяет построить графики разгона автомобиля $v_а = f(t)$ и $s = f(t)$, определить параметры движения на участках маршрута и оценить эффективность выполнения транспортной работы.

В формулах (21), (23) и (25) скорость $v_а$ в м/с.

Нормальные реакции $R_{zн}$ и $R_{zв}$ в процессе движения автомобиля непрерывно изменяются, поэтому их необходимо вычислять на каждом шаге интегрирования уравнений (25). Выражения для определения нормальных реакций дороги на передние R_{z1} и задние R_{z2} колёса двухосного автомобиля найдём из условий равновесия воздействий внешней среды на автомобиль, отображённых на рис. 1:

$$\begin{aligned} R_{z1} = [&l_2 G_а \cos\alpha - M_f - h_c(F_h + F_{jа}) - \\ &- F_w h_w + M_{wy} - F_{пр} h_{пр} - M_{р.в.м}]/L; \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} R_{z2} = [&l_1 G_а \cos\alpha + M_f + h_c(F_h + F_{jа}) + \\ &+ F_{wx} h_w - M_{wy} + F_{пр} h_{пр} + M_{р.в.м}]/L, \end{aligned} \tag{27}$$

где $M_{р.в.м}$ — реактивный момент ведущего моста: $M_{р.в.м} = M_{к.в}(u_0 - 1)/u_0$; u_0 — передаточное число ведущего моста.

Для заднеприводного автомобиля $R_{zн} = R_{z1}$; $R_{zв} = R_{z2}$, а для переднеприводного $R_{zн} = R_{z2}$; $R_{zв} = R_{z1}$.

Математическая модель движения автомобиля с учётом скольжения ведущих колёс

На дороге с низким коэффициентом сцепления и высоким сопротивлением движению (крутой подъём, обледенелая или размокшая грунтовая дорога, буксирование прицепа) может возникнуть внешнее скольжение (буксование) ведущих колёс автомобиля.

На рис. 4, *а* представлена схема, на которой показаны вектор скорости центра ведущего колеса $\vec{v}_{к.в}$ и вектор скорости его скольжения $\vec{v}_s$, состоящий из двух компонентов — скорости упругого скольжения $\vec{v}_{sy}$ и внешнего скольжения $\vec{v}_{sв}$

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{sy} + \vec{v}_{sв}. \tag{28}$$

В точке *p* находится мгновенный центр скоростей (МЦС) колеса. Расстояние от МЦС до цен-

тра колеса r_{Op} представляет собой *кинематический радиус колеса*, а его величина в сочетании с угловой скоростью вращения $\omega_{\text{к.в}}$ определяет скорость центра колеса $v_{\text{к.в}}$, следовательно, и скорость автомобиля $v_{\text{а}}$ с учётом скорости скольжения v_s:

$$v_{\text{а}} = v_{\text{к.в}} = \omega_{\text{к.в}} r_{Op}. \quad (29)$$

Для ведущего колеса r_{Op} изменяется в пределах $0 \le r_{Op} \le r_{\text{к}0}$, а для тормозящего — в пределах $r_{\text{к}0} \le r_{Op} \le \infty$.

Так как при внешнем скольжении ведущего колеса соотношение между $v_{\text{к.в}}$ и $\omega_{\text{к.в}}$ непостоянно, то автомобиль в данном случае представляет собой механическую систему с двумя степенями свободы. Выберем в качестве фазовых координат угловую скорость ведущего колеса $\omega_{\text{к.в}}$ и линейную скорость центра масс автомобиля $v_{\text{а}}$ и составим для их вычисления два дифференциальных уравнения. Но вначале построим модель определения скорости внешнего скольжения ведущего колеса $\vec{v}_{s\text{в}}$. Умножим левую и правую части формулы (18) на $\omega_{\text{к.в}}$. В результате получим выражение для вычисления скорости центра ведущего колеса $v^*_{\text{к.в}}$, движущегося без внешнего скольжения,

$$v^*_{\text{к.в}} = v_{\text{к}0} - v_{sy}, \quad (30)$$

где $v_{\text{к}0}$ — скорость колеса при $M_{\text{к.в}} = 0$ (ведомое колесо): $v_{\text{к}0} = \omega_{\text{к.в}} r_{\text{к}0}$; v_{sy} — скорость упругого скольжения ведущего колеса, обусловленная окружной деформацией шины.

Скорость упругого скольжения вычисляется по формуле

$$v_{s\text{y}} = \omega_{\text{к.в}}(r_{\text{к}0} - r_{\text{к}}) = \omega_{\text{к.в}} M_{\text{к.в}}/c_{\text{ш.о}}. \quad (31)$$

При возникновении внешнего скольжения скорость центра колеса

$$v_{\text{к.в}} = v_{\text{к}0} - v_{s\text{y}} - v_{s\text{в}}. \quad (32)$$

Подставим значение $v_{s\text{y}}$ из выражения (31) и примем во внимание, что $v_{\text{к.в}} = v_{\text{а}}$. В результате получаем искомую формулу для определения скорости внешнего скольжения ведущего колеса

$$v_{s\text{в}} = \omega_{\text{к.в}} r_{\text{к}} - v_{\text{а}}. \quad (33)$$

В эту формулу входят обе фазовые координаты $\omega_{\text{к.в}}$ и $v_{\text{а}}$, для определения которых необходимо получить дифференциальные уравнения.

Первое уравнение получим, рассматривая схему воздействий на ведущее колесо, представленную на рис. 4, *б*, и определяя их виртуальные работы на возможных перемещениях:

$$M_{\text{к.в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} - M_{f\text{в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} - M_{j\text{к.в}}\delta\varphi_{\text{к.в}} - \\ - F_{x\text{в}}\delta x - R_{x\text{в}}\delta s = 0. \quad (34)$$

Составим выражения для вычисления виртуальных перемещений на интервале времени δt:

$$\delta\varphi_{\text{к.в}} = \omega_{\text{к.в}}\delta t; \quad \delta x = v_{\text{а}}\delta t; \quad \delta s = (v_{s\text{y}} + v_{s\text{в}})\delta t. \quad (35)$$

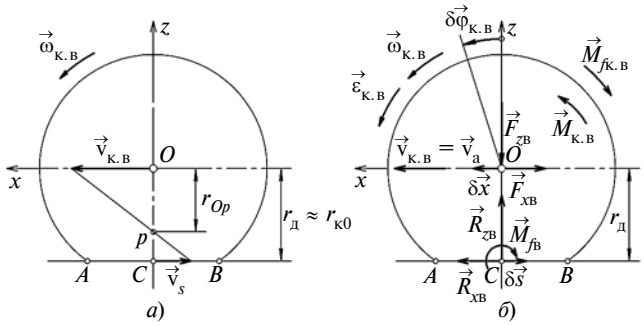


Рис. 4. Скорость ведущего колеса (а) и воздействия на него (б) корпуса автомобиля и опорной поверхности дороги при внешнем скольжении

Учитывая выражения (28)—(33), получаем:

$$\delta x = \omega_{\text{к.в}} r_{Op}\delta t; \quad (36)$$

$$\delta s = \omega_{\text{к.в}}(r_{\text{к}0} - r_{Op})\delta t. \quad (37)$$

Подставим значения виртуальных перемещений в уравнение (34). Сократив общий множитель $\omega_{\text{к.в}}\delta t$ и принимая во внимание, что согласно схеме на рис. 4, *б*, $F_{x\text{в}} = R_{x\text{в}}$, $r_{\text{к}0} \approx r_{\text{д}}$, получаем

$$M_{\text{к.в}} - M_{f\text{в}} - M_{j\text{к.в}} - R_{x\text{в}} r_{\text{д}} = 0. \quad (38)$$

Физическая природа продольной реакции дороги на колесо $R_{x\text{в}}$ — сцепление (трение). Предельное значение этой реакции

$$R_{x\text{в max}} = \varphi_x R_{z\text{в}}, \quad (39)$$

где φ_x — коэффициент сцепления; $R_{z\text{в}}$ — нормальная реакция дороги на ведущее колесо.

Момент $M_{\text{к.в}}$ вычисляется по формуле (6), а инерционный момент колеса $M_{j\text{к.в}} = J_{\text{к.в}} d\omega_{\text{к.в}}/dt$. Подставляя значения $M_{\text{к.в}}$, $M_{j\text{к.в}}$, $R_{x\text{в}}$ в выражение (38), получаем дифференциальное уравнение вращательного движения ведущего колеса автомобиля

$$J_{\text{к.в.пр}} d\omega_{\text{к.в}}/dt = M_{\text{д}} u_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}} - M_{f\text{в}} - \varphi_x R_{z\text{в}} r_{\text{д}}, \quad (40)$$

где $J_{\text{к.в.пр}}$ — приведённый к ведущему колесу суммарный момент инерции двигателя, трансмиссии и колеса:

$$J_{\text{к.в.пр}} = J_{\text{д}} u^2_{\text{тр}} + J_{\text{тр}} + J_{\text{к.в}}. \quad (41)$$

Второе дифференциальное уравнение составляется для поступательного движения корпуса автомобиля. Движущей силой корпуса является сила тяги ведущего колеса $F_{\text{т}}$, приложенная к его оси. При внешнем скольжении эта сила равна силе сцепления $R_{x\text{в}}$. Остальные силы показаны на рис. 1. Составим уравнение виртуальных работ всех воздействий на корпус автомобиля:

$$F_{\text{т}}\delta x - F_h\delta x - F_w\delta x - F_{\text{пр}}\delta x - \\ - F_{j\text{а}}\delta x - M_{f\text{н}}\delta\varphi_{\text{к.н}} = 0. \quad (42)$$

Подставляя значение $\delta\varphi_{\text{к.н}}$ из соотношения (14), получаем второе дифференциальное уравне-

ние. Объединив оба уравнения в единую систему и дополнив её уравнением для вычисления проходимого пути, получаем математическую модель движения автомобиля с учётом внешнего скольжения ведущих колёс:

$$\left.\begin{aligned} &d\omega_{\text{к.в}}/dt = [M_{\text{д}}u_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}} - M_{f\text{в}} - \varphi_x R_{z\text{в}} r_{\text{д}}]/J_{\text{к.в.пр}};\\ &dv_{\text{а}}/dt = (\varphi_x R_{z\text{в}} - m_{\text{а}} g\sin\alpha - M_{f\text{н}}/r_{\text{д}} -\\ &- k_w A_{\text{л}} v_{\text{а}}^2 - F_{\text{пр}})/(m_{\text{а}} + J_{\text{к.н}}/r_{\text{к0}}^2);\\ &ds/dt = v_{\text{а}}. \end{aligned}\right\} \quad (43)$$

Возникновение процесса буксования ведущего колеса обнаруживается по выполнению условия

$$M_{\text{к.в}} - M_{f\text{в}} - M_{j\text{к.в}} > \varphi_x R_{z\text{в}} r_{\text{д}}. \quad (44)$$

Скорость внешнего скольжения ведущего колеса $v_{s\text{в}}$ относительно опорной поверхности вычисляется по формуле (33). Если $|v_{s\text{в}}| > \Delta v_{s\text{в}}$, колесо буксует. Тогда используется система уравнений (43). При $|v_{s\text{в}}| \le \Delta v_{s\text{в}}$ можно считать, что буксование прекратилось, и применять систему уравнений (25). Значение $\Delta v_{s\text{в}}$ рекомендуется принимать равным $0{,}01\omega^*_{\text{к.в}} r_{\text{к0}}$, где $\omega^*_{\text{к.в}}$ — угловая скорость вращения ведущего колеса на низшей передаче трансмиссии при частоте вращения вала двигателя, соответствующей его максимальному моменту $M_{e\max}$.

Коэффициент сцепления φ_x можно вычислять по формуле

$$\varphi_x = \varphi_{x\text{д}} + (\varphi_{x\text{ст}} - \varphi_{x\text{д}})\exp(-k_e|v_{s\text{в}}|), \quad (45)$$

где $\varphi_{x\text{ст}}$, $\varphi_{x\text{д}}$ — статический (при $v_{s\text{в}} = 0$) и динамический (при $|v_{s\text{в}}| > \Delta v_{s\text{в}}$) коэффициент сцепления; k_e — коэффициент экспоненты ($k_e = 0{,}25...0{,}30$).

Можно также использовать характеристику зависимости φ_x от коэффициента скольжения ведущего колеса $\lambda_{\text{в}}$. В [5] приведена формула Burckhardt, описывающая зависимость $\varphi_x = f(\lambda_{\text{в}})$:

$$\varphi_x(\lambda_{\text{в}}) = c_1\left(1 - e^{-c_2\lambda_{\text{в}}}\right) - c_3\lambda_{\text{в}}, \quad (46)$$

где c_1, c_2, c_3 — эмпирические коэффициенты.

Значения этих коэффициентов и графики зависимостей $\varphi_x = f(\lambda_{\text{в}})$ для различных дорожных условий приведены в [5].

При использовании формулы (46) необходимо иметь в виду, что коэффициент скольжения ведущего колеса $\lambda_{\text{в}}$ представляет собой отношение суммарной скорости упругого и внешнего скольжений v_s к скорости колеса при $M_{\text{к.в}} = 0$, т. е. скорости ведомого колеса $v_{\text{к0}}$

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{v_s}{v_{\text{к0}}} = \frac{v_{s\text{у}} + v_{s\text{в}}}{\omega_{\text{к.в}} r_{\text{к0}}}. \quad (47)$$

Предложенные математические модели позволяют исследовать тягово-скоростные свойства и проходимость автомобиля в заданных дорожных условиях. Их можно также использовать при разработке модели для оценки эффективности эксплуатации автомобиля в сложных дорожных условиях с учётом изменения параметров и характеристик маршрута движения. Маршрут представляется в виде последовательности участков дороги, каждый из которых характеризуется продольным уклоном h_i, коэффициентом сопротивления качению f_i, коэффициентом сцепления φ_{xi}, а также различными ограничениями на условия движения [6]. Следовательно, математическая модель должна содержать дополнительно описания всех условий движения автомобиля, а также управляющих воздействий на органы управления двигателем и тормозной системой.

Таким образом, необходимо сделать ряд выводов.

1. Разработанные математические модели прямолинейного движения автомобиля, предназначенные для оценки показателей тягово-скоростных свойств и проходимости, позволяют исследовать характеристики движения по дорогам с твёрдым покрытием и в условиях низкого коэффициента сцепления с пробуксовкой ведущих колёс.

2. Построение адекватных математических моделей движения автомобиля в различных дорожных условиях надёжно обеспечивается использованием методов, основанных на законах сохранения энергии. К таким методам относятся уравнения Лагранжа второго рода и общее уравнение динамики — принцип Лагранжа—Даламбера.

3. При построении математических моделей движения автомобиля необходимо на основе принципа освобождаемости от связей выделить компоненты, совершающие простейшие виды движения — поступательное (корпус автомобиля и все механизмы, находящиеся в корпусе) и вращательное (ведущее колесо, относя при этом его поступательно-движущуюся массу к массе корпуса автомобиля). Это обусловлено тем, что поступательное движение происходит под действием векторов сил, а вращательное — под действием вращающих моментов.

4. При расчленении исходной системы автомобиля на компоненты необходимо иметь в виду, что их взаимодействия определяются совокупностью главного вектора и главного момента.

5. Проведённый анализ убедительно показывает, что тяговая сила ведущего колеса автомобиля приложена к его оси и обеспечивает компенсацию силы сопротивления корпуса автомобиля.

6. Продольная реакция опорной поверхности на ведущее колесо не является движущей силой автомобиля. При движении без внешнего проскальзывания она приложена в неподвижной точ-

ке и не выполняет работы, а при пробуксовке колеса её работа отрицательна.

7. Предельное значение тяговой силы ведущего колеса автомобиля обусловлено максимальной величиной продольной реакции опорной поверхности, определяемой коэффициентом сцепления и нормальной реакцией.

8. При определении виртуальных работ внешних сил, действующих на автомобиль, вращающий момент ведущего колеса необходимо рассматривать в качестве тягового момента автомобиля, сообщающего ему энергию движения. Сила тяги ведущего колеса при этом является внутренней силой, уравновешиваемой сопротивлением корпуса, и поэтому работы не выполняет.

Литература

1. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
2. Тарасик В.П., Бренч М.П. Теория автомобилей и двигателей: учебное пособие. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. — 448.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. — М.: Высш. шк., 2002. — 416 с.
4. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Статика, кинематика, динамика: учебник для вузов. — М.: КНОРУС, 2010. — 608 с.
5. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive Control Systems — For Engine, Driveline, and Vehicle. Second edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. — 512 p.
6. Тарасик В.П., Рынкевич С.А. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами: монография. — Минск: УП "Технопринт", 2004. — 512 с.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 629.33

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АТС В РОССИИ

Д-р техн. наук **РЯБЧИНСКИЙ А.И.**
МАДИ (madiobd2012@mail.ru)

Обосновывается основная причина низкого уровня обеспечения безопасности дорожного движения в стране — отсутствие координирующего центра. Приводятся важнейшие направления повышения конструктивной безопасности АТС, решения по которым требуют координации усилий различных ведомств.

Ключевые слова: *безопасность дорожного движения, конструктивная безопасность автотранспортного средства, ремни безопасности, детские удерживающие устройства, перевозка детей в специальных автобусах.*

Ryabchinsky A.I.

PROBLEMS TO ENSURE SAFETY OF MOTOR TRANSPORT FACILITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Substantiated in the article is the main cause of low safety level reqarding the road traffic in this country, which is the nonexistence of a relevant coordination centre. Given here are the most important trends aimed at raising the design safety of motor transport facilities. The decisions involved would call for coordinated efforts on the part of different authorities.

Keywords: *road safety, design safety of a motor transport facility, safety belts, children's keeping devices, children's transportation by special-purpose buses.*

Сегодняшний уровень обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации остаётся весьма низким, в результате чего риск пострадать в дорожно-транспортном происшествии здесь в 5—7 раз выше, чем в странах с развитой автомобилизацией. При этом около 20 % ДТП происходит по причине недостаточно высокого уровня конструктивной безопасности АТС и неудовлетворительной эксплуатационной безопасности автомобилей на дорогах РФ. Основополагающей причиной аварийности является отсутствие в стране системы управления обеспечением безопасности дорожного движения, что делает невозможным целенаправленную разработку и реализацию необходимых мероприятий, в том числе по обеспечению безопасности самих АТС.

Рассмотрим, как в историческом ракурсе осуществлялась организация работ по безопасности дорожного движения в стране.

Координация работ по обеспечению конструктивной безопасности АТС в Советском Союзе ранее возлагалась на Министерство автомобильной промышленности, а по контролю за эксплуатационной безопасностью на организации ГАИ МВД, которые провели ряд важных мероприятий по обеспечению соответствия выпускаемых в стране автомобилей требованиям безопасности и поддержанию необходимого технического состояния автомобилей в условиях эксплуатации. В числе важнейших принятых управленческих мер — присоединение СССР в 1987 г. к Женевскому соглашению 1958 г., что обеспечило создание в стране системы сертификации автомобилей, соответствующей международному уровню.

С ликвидацией Минавтопрома и принятием в 2002 г. закона "О техническом регулировании", устоявшаяся координация работ по повышению

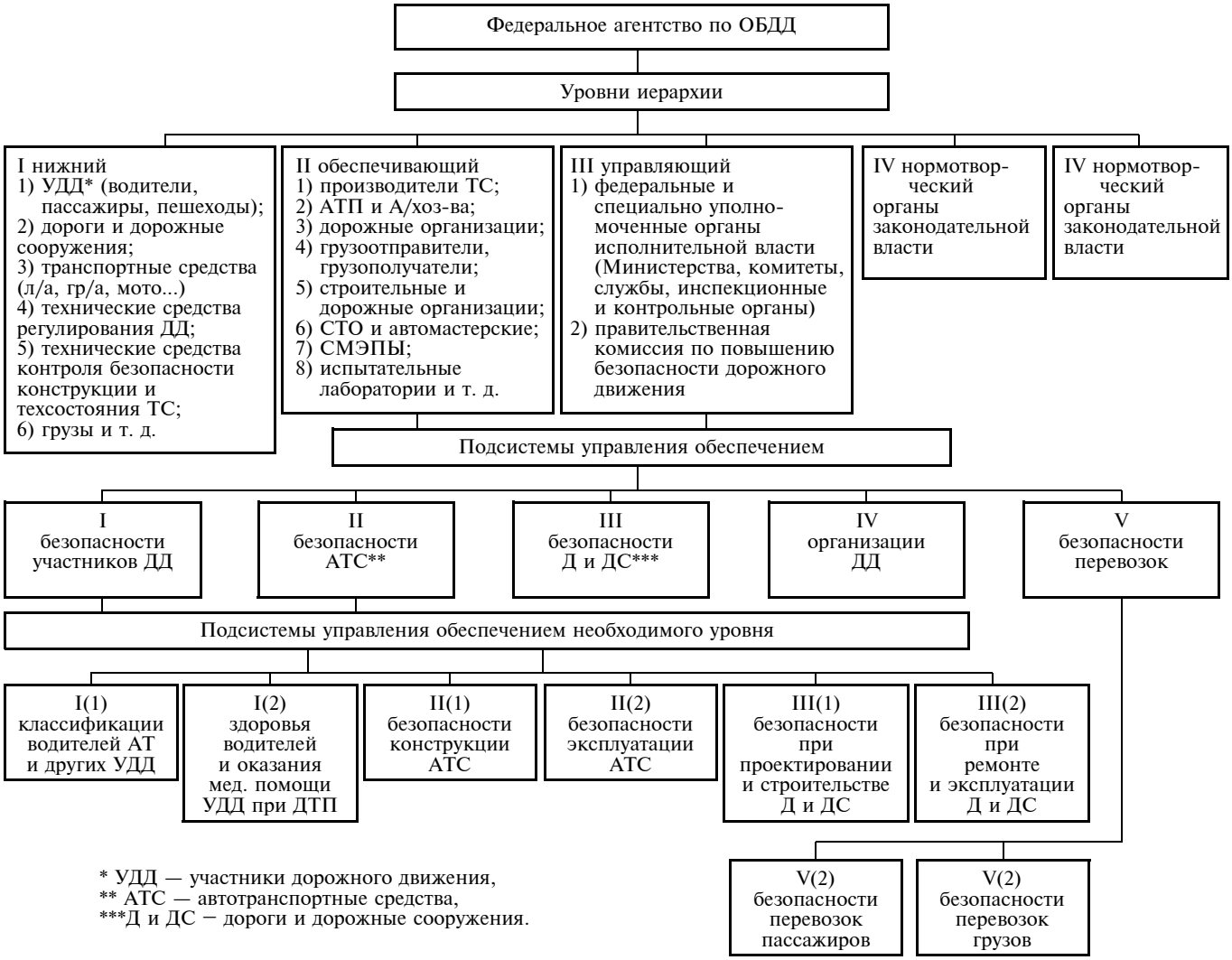


Рис. 1. Рекомендуемая структура системы управления ОБДД

безопасности АТС была нарушена. Принятый в 2009 г. технический регламент "О безопасности колесных транспортных средств", а затем действующий с 2015 г. аналогичный технический регламент Таможенного Союза, которые должны были стать базой для организации работ по безопасности АТС, не обеспечивают существенного повышения безопасности выпускаемых и эксплуатируемых АТС из-за непринятия необходимых и технически обоснованных управленческих решений.

Отсутствие координации работ по безопасности приводит к массовому непрофессионализму в сфере руководства деятельностью по БДД, задержке с реализацией эффективных мероприятий по повышению безопасности АТС на 10 и более лет из-за безответственности разных ведомств и отсутствия перспективных планов по регламентации безопасности, практическому отсутствию контроля за качеством выпускаемой автотехники со стороны организаций, ответственных за сертификацию АТС, а также к нереализации результатов отечественных разработок по повышению безопасности АТС (в основном, в части пассивной безопасности автобусов и грузовых автомобилей), учитывающих особенности эксплуатации АТС в стране и ряду других проблем.

Полноценная организация работ по повышению безопасности дорожного движения может быть обеспечена только за счёт создания федерального органа по управлению ОБДД — *федерального агентства по ОБДД*, структура которого показана на рис. 1. Практически можно считать, что из-за отсутствия такого центра работы по повышению конструктивной безопасности АТС брошены на самотёк, что подтверждается такими факторами как: отсутствие плана, ответственного органа и сроков введения в технический регламент новых (уточнённых) технических требований к безопасности АТС; низкий уровень контроля за качеством выполнения НИР по ФЦП "Повышение безопасности ДД в РФ" и использования материалов этих НИР, отчёты по которым много

лет пылятся в кабинетах Дирекции ФЦП, тогда как мероприятия по повышению безопасности АТС в планы мероприятий по повышению безопасности дорожного движения Правительством не включаются.

Рассмотрим в качестве примеров важнейшие и уже давно назревшие мероприятия по повышению конструктивной безопасности АТС в части пассивной безопасности, которые в большей степени не реализуются из-за отсутствия как координации деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения в стране, так и управляющего органа.

Оборудование автобусов категории М2 с максимальной массой до 3,5 т диагонально-поясными ремнями безопасности

Регулярно происходят резонансные ДТП таких автобусов с гибелью 5 и более пассажиров из-за отсутствия ремней безопасности, хотя уже более 10 лет в соответствии с международными Правилами ООН № 16 эти потенциально опасные из-за небольшой массы транспортные средства должны оборудоваться диагонально-поясными ремнями. Если использование автобусов без ремней безопасности для маршрутных перевозок в городах объясняется отсутствием средств для закупки новой техники, то совсем не понятно и преступно использование их при выполнении междугородних перевозок. Только из-за этой причины, связанной с ненормальной организацией работ по обеспечению безопасности дорожного движения, погибает и получают тяжёлые ранения 1,5—2 тыс. человек в год. При этом технических проблем в оснащении автобусов ремнями безопасности не существует: все импортные автобусы этого типа оборудуют диагонально-поясными ремнями, когда эксплуатируются за рубежом, а на ГАЗе уже давно разработаны свои модели, оснащённые такими же ремнями.

Таблица 1

Участники и обстоятельства ДТП	Число ДТП и пострадавших детей в РФ в 2016 г. (прирост от 2015 г.)		
	ДТП с участием детей	Погибли	Ранены
Дети в возрасте до 16 лет	19 269 (−1,4 %)	710 (−3,7)	20 621 (−1,5)
Дети-пассажиры	8763 (+1,4)	441 (+2,6)	9987 (+1,6)
Дети-пассажиры до 12 лет	6586 (+1,1)	308 (−1,6)	7312 (+1,3)
При нарушении водителями правил перевозки детей (без ремней безопасности или удерживающих устройств)	1028 (−3,3)	82 (+32,3)	1188 (−4,2)

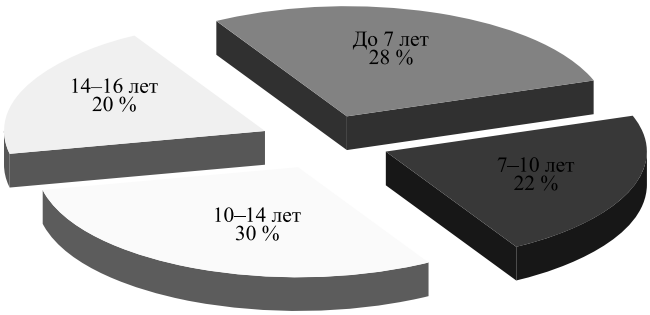


Рис. 2. Распределение числа ДТП с участием несовершеннолетних по возрасту

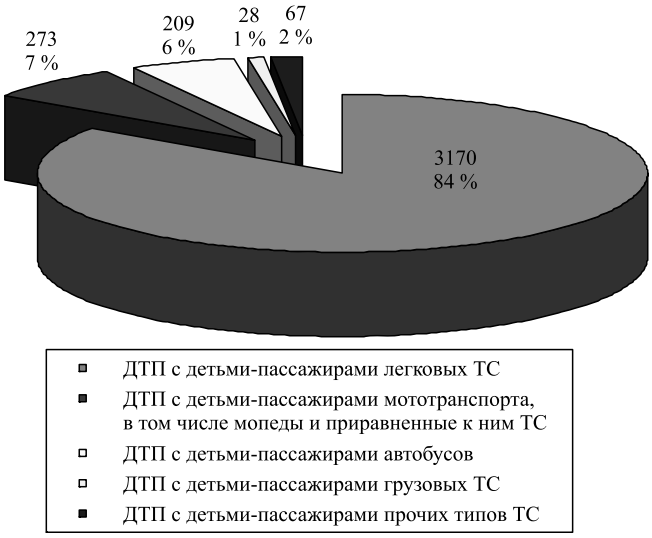


Рис. 3. Распределение числа ДТП с участием детей-пассажиров по типам АТС

Использование безопасных детских удерживающих устройств

Последнее десятилетие отмечено большой результативностью разработок по повышению безопасности детей в автомобиле. Для эффективной их защиты при перевозке в транспортных средствах и предназначаются детские удерживающие устройства. По данным Всемирной организации здравоохранения, использование их позволяет снизить риски гибели детей при ДТП на 54 %, получения травм средней тяжести — на 76 %, а тяжелых травм — на 92 %.

Анализ детского дорожно-транспортного травматизма в Российской Федерации показывает, что несмотря на некоторое общее снижение числа погибающих детей в ДТП, отмечается рост пострадавших детей-пассажиров автотранспортных средств, в основном в возрасте до 12—14 лет (таблица, рис. 2). Почти девять из десяти погибших в ДТП детей-пассажиров — пассажиры легковых автомобилей (рис. 3).

Таблица 2

Группа ДУУ	Масса ребёнка, кг	Примерный возраст ребенка, лет	Способ установки устройства
0	1...10	0...1	Боком по ходу движения
0+	0...13	0... 1,5	Лицом против движения
1	9...18	1...4	Лицом по ходу движения
2	15...25	3...7	Лицом по ходу движения
3	22...36	6...12	Лицом по ходу движения

Требования к конструкции детских сидений регламентируются Правилами ООН № 44 "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения детских удерживающих систем (УДУС), используемых в транспортных средствах", которые обеспечивают более высокий уровень защиты детей, находящихся в механических транспортных средствах. Правила эти периодически корректируются и ужесточаются. С июля 2013 г. вступили в силу также Правила ООН № 129 "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения усовершенствованных детских удерживающих систем (УДУС), используемых в транспортных средствах", которые обеспечивают более высокий уровень защиты детей.

Основные отличия Правил № 129 в сравнении с Правилами № 44 состоят в проведении испытаний на боковой удар, а также использовании УДУС только со специальным креплением *ISOFIX*, обеспечивающим надёжную фиксацию в автомобиле детского удерживающего устройства (сиденья). С его помощью детское сиденье жёстко крепится к кузову автомобиля специальными скобами, расположенными под спинкой основного сиденья, а ребёнок пристёгивается внутренним пятиточечным ремнём к детскому сиденью. Преимущества крепления *ISOFIX* таковы: более высокая степень защиты ребёнка в случае ДТП, при которых происходит серия ударов; удобство использования (быстрый монтаж/демонтаж); исключение опрокидывания, смещения и маятникового движения сиденья.

Детские удерживающие устройства подразделяются на несколько групп, в зависимости от возраста и веса ребенка. Все детские сиденья делятся по европейской классификации на пять групп (табл. 2 и рис. 4). Анализ состояния работы по широкому внедрению в практику использования в РФ на легковых автомобилях безопасных конструкций детских удерживающих устройств выявил ряд важных нерешённых проблем: широкое использование небезопасных устройств не соответствующих существующим нормам; недостаточный контроль за применением удерживающих устройств водителями при перевозке детей.

К сожалению, наш рынок заполонили дешевые китайские детские удерживающие устройства, которые, как правило, не соответствуют требованиям безопасности. И основная масса автовладельцев покупает именно их. Отечественные производители обратились в правительство с просьбой ввести дополнительный акциз на ввоз в страну таких устройств, но правительство пока отказало.

С другой стороны, нет контроля за качеством устройств, реализуемых в торговле. Чиновники объясняют это тем, что детских удерживающих устройств нет в перечне товаров, подлежащих обязательной сертификации. Однако в действующем Техническом регламенте таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств" в приложениях 1.10, пункт 35, эти устройства включены в список объектов, к которыми выдвигаются обязательные требования, и эти требования там перечислены. Это является основанием для того, чтобы требовать сертификаты у торговцев. Но сидения продаются без сертификатов. Проверки показали, что до 80 % продаваемых сейчас детских удерживающих устройств полноценно не обеспечивают безопасности ребенка в автомобиле.

Широкое распространение при перевозке детей получили в РФ травмоопасные корректоры положения лямок обычных ремней безопасности (адаптеры). Например, известные под маркой "ФЭСТ" (рис. 5). Данное изделие (*изготовитель — ООО "Предприятие "ФЭСТ", г. Кострома; весовая груп-*

Рис. 4. Классификация детских удерживающих устройств

па — II—III; класс конструкции — нецельный; масса устройства — 0,04 кг) не может быть сертифицировано как детское удерживающее устройство, и на федеральном уровне уже давно следовало бы запретить его продажу и использование при перевозке детей, ссылаясь на результаты многочисленных контрольных испытаний.

Вторая проблема — это контроль за использованием детских сидений в автомобиле. Контроль со стороны ГИБДД — неудовлетворительный. Сотрудники инспекции к такому контролю не подготовлены. Мы давно предлагали обеспечить их методическими рекомендациями (инструкциями), которые бы помогали ориентироваться при проверке детских сидений — правильно ли они установлены, обеспечивают ли безопасность. Но таких инструкций нет.

Как известно, качество поддерживается системой сертификации. У нас нет центров по сертификации детских удерживающих устройств с необходимым для этого комплексом оборудования. Поэтому производители вынуждены либо получать фальшивые сертификаты (непонятно почему мы не ведём борьбы с такими фактами), либо тратить большие средства для проведения сертификации в зарубежных центрах, что приводит к удорожанию отечественных детских удерживающих устройств.

Какие же организационно-технические мероприятия необходимо принимать, чтобы обеспечить защиту детей при перевозке в автомобиле?

Во-первых, правительственной комиссии по БДД срочно организовать и провести комплекс мероприятий: по недопущению продажи в торговой сети несертифицированных детских удерживающих устройств; по усилению системы контроля и наказания организаций, выдающих сертификаты на небезопасные изделия; по регулярной проверке на дорогах органами ГАИ МВД РФ использования в автомобиле при перевозке детей детских удерживающих устройств; по созданию в стране сертификационного центра по испытаниям устройств на соответствии Правилам ООН № 44 и 129.

Во-вторых, водителям (родителям) использовать только безопасные детские удерживающие устройства, которые могут защищать ребёнка. Для этого при покупке устройства необходимо требовать сертификат, подтверждающий его соответствие требованиям Правил ООН № 44 и 129. Учитывая наличие незаконных сертификатов, которые выдаются без проведения испытаний, целесообразно ориентироваться на надёжность изготовителя: с большой степенью достоверности можно считать безопасными устройства, изготовленные в Германии, Франции, Англии, а из отечественных производителей — выпускаемые ООО "Форс". Не покупать детские удерживающие устройства ценой ниже 5 тыс. рублей (иначе велика вероятность стать владельцем некачественного товара). Покупать устройство, которое может крепиться к автомобилю как штатными ремнями, так и с помощью крепления *ISOFIX*, которое более надёжно. Если на вашем автомобиле сейчас отсутствует крепление *ISOFIX*, то когда вы поменяете автомобиль на более новую модель, такое крепление будет обязательно, и вам не придется менять детское удерживающее устройство. Внимательно изучать инструкции, прилагаемые к автомобилю и к устройствам.

Рис. 5. Детское удерживающее устройство "ФЭСТ"

Повышение пассивной безопасности школьных автобусов

Для регулярных перевозок детей в возрасте от 6 до 16 лет используются специальные ("школьные") автобусы, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51160—98. Согласно ГОСТ эти автобусы для перевозки детей комплектуются поясными ремнями безопасности, в недостаточной степени обеспечивающими безопасность детей при ДТП. В последнее время стали поступать обращения в Правительство РФ с просьбой оказать содействие в правовом регулировании вопроса организации перевозки групп детей в возрасте от 1,5 до 6 лет вне и в населенных пунктах в муниципальные дошкольные организации (например, детские сады и ясли).

Какое компромиссное решение можно рекомендовать для выполнения вышеуказанного обращения и одновременно для повышения пассивной безопасности школьных автобусов?

Предполагается разрешить перевозку детей в возрасте от 3 в школьных автобусах с использованием в них диагонально-поясных ремней безопасности с регулируемым креплением верхней точки на дополнительной лямке, соединяющей верхнюю и нижнюю точки крепления ремня к кузову транспортного средства (рис. 6). При необ-

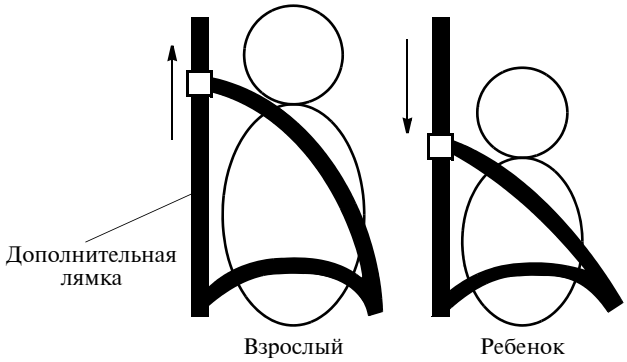


Рис. 6. Регулируемая верхняя точка крепления диагонально-поясного ремня безопасности с использованием дополнительной лямки

ходимости перевозки детей в возрасте с 1,5 до 3 лет использовать детские удерживающие устройства, закреплённые с помощью диагонально-поясных ремней безопасности или креплением *ISOFIX*.

Для того чтобы реализовать данные предложения, необходимо внесение соответствующих поправок в ГОСТ Р51160—98 "Технический регламент таможенного союза" и реконструкция школьных автобусов, с установкой в них вышеописанных диагонально-поясных ремней безопасности. Понятно, что без координирующей организации (центра) такие работы срочно реализовать сложно.

Автомобиль — опасный объект, поэтому создание и использование эффективной системы управления деятельностью, обеспечивающей высокий уровень безопасности при его эксплуатации, несомненно является прямой обязанностью государства.

Литература

1. Рябчинский А.И., Русаков В.З. Концепция управления в области обеспечения безопасности автотранспортных средств в эксплуатации. — Москва: Вестник МАДИ (ГТУ), вып. 1, 2003 г. С. 87—94.
2. Правила ООН (ЕЭК ООН).
3. ГОСТ Р 51160—98 "Автобусы для перевозки детей. Технические требования".

УДК 6.62.629.053

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕДИАКОМПЛЕКСОВ НА ТРАНСПОРТЕ

Д-р техн. наук **ПОСТОЛИТ В.А., ПРУШАК А.Л., САВРАНСКИЙ А.С., НИКОЛЕНКО М.Е., ХАЗИЕВ А.А.**
ООО "Городские Интеллектуальные Системы" (anat_post@mail.ru), МАДИ

Рассмотрены вопросы развития перспективных областей рекламного бизнеса путём размещение рекламы в транспорте. Опыту проектирования, практической реализации интерактивной рекламы посвящена данная статья.

Ключевые слова: *пассажирский транспорт, мониторинг, спутниковые технологии, GPS/ГЛОНАСС, медиа-контент, интерактивная реклама, социальная реклама, медиакомплексы, медиаэкраны, информационные системы, информирование в метро.*

Postolit V.A., Prushak A.L., Savransky A.S., Nikolenko M.E., Khaziev A.A.

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF USE OF INTERACTIVE MEDIA SYSTEMS AT THE TRANSPORT

The issues of development of promising areas of the advertising business by advertising in transport. Experience of design, implementation of interactive advertising focus of this article.

Keywords: *passenger transport, monitoring, satellite technology, GPS/GLONASS, media content, interactive advertising, social advertising, media systems, media screens, information system, information in the subway.*

Представить нашу жизнь без рекламы сегодня невозможно. Она стала неотъемлемой частью жизни. В современном, динамично развивающемся мире одна из наиболее перспективных областей рекламного бизнеса — размещение рекламы в транспорте. При этом для рекламных целей используются как борта транспортных средств (для статичной рекламы) [1], так и внутрисалонное пространство (транспортное телевидение, медиаплееры) [2]. С точки зрения минимизации затрат на обновление рекламных материалов высокую привлекательность и информативность имеют динамичные носители информации (медиаэкраны) с удалённым обновлением медиаконтента [3]. Для реализации такого подхода необходимо иметь не только подвижной состав, оснащённый специальными медиаустройствами, но и средства удалённого управления медиаконтентом. В процессе создания, загрузки на медианосители и демонстрации контента задействовано большое количество организаций. Это рекламные агентства, дизайн-студии, транспортные компании, рекламодатели (торговые предприятия, службы сервиса, организаторы развлечений, новостные средства массовой информации и пр.), а также органы власти, которым необходим канал оперативного взаимодействия с населением. Исходя из этого, системы удалённого управления медиаконтентом должны объединять и координировать взаимодействие всех участников создания и распространения коммерческой, социальной рекламной и познавательной информации. Такие системы должны быть построены с применением современных достижений в области электронной техники, *web*-технологий, спутниковых навигационных систем. Опыту проектирования, практической реализации именно таких систем и посвящена данная статья.

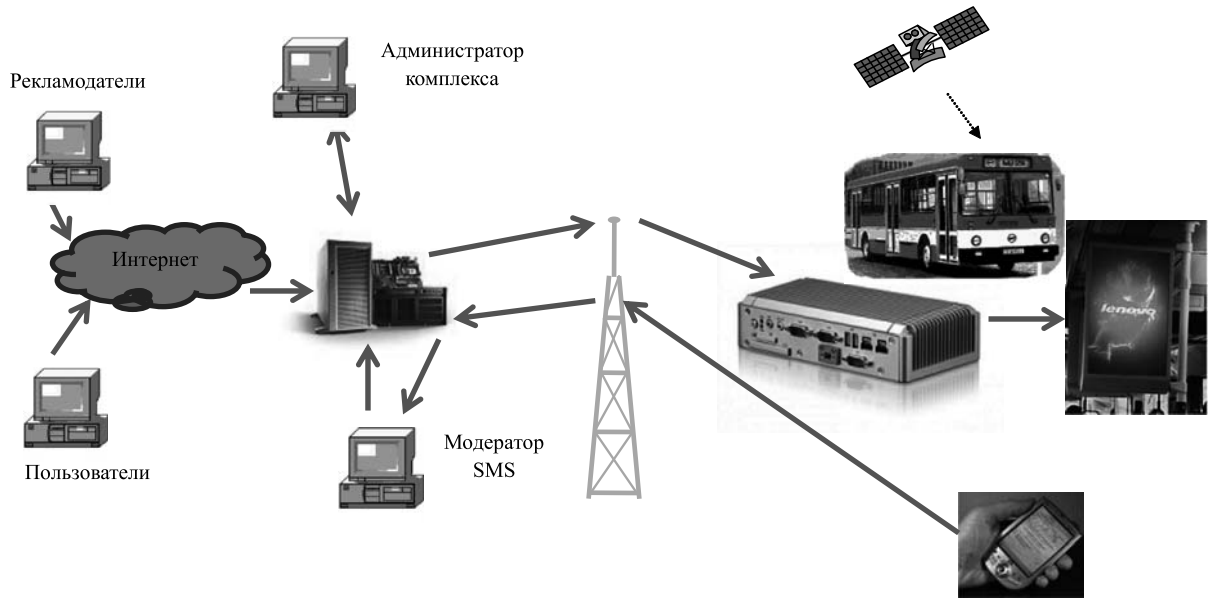


Рис. 1. Принципиальная структура интерактивного медиакомплекса

В крупных городах различными видами транспорта пользуются до 90 % населения. Транспортные средства являются достаточно эффективным инструментом для рекламы товаров массового спроса, магазинов, услуг, доведения до населения социальной рекламы. При достаточно развитой городской транспортной инфраструктуре любой человек, независимо от интересов, возраста или других характеристик, выходя на улицу, каждый день видит транспортную рекламу и испытывает на себе её действие. Отечественный и зарубежный опыт показывает высокую эффективность рекламы на транспорте. Так, в Великобритании 86 % опрошенных граждан (Лондон — 91 %, регионы — 83 %) в деталях вспомнили рекламу, которую они видели на автобусах. Большинство их них (61 %) впоследствии совершили какие-либо действия (20 % приобрели товар, 21 % начали искать дополнительную информацию, 25 % рассказали содержание рекламы друзьям и родственникам) или подумали о совершении действий (о бренде — 27 %, о покупке продукта — 14 %) [4].

В России имеется достаточно широкое поле для рекламной деятельности на транспорте. По данным ГУП "Мосгортранс", каждый день на маршруты в Москве выходит около 7 тыс. единиц общественного транспорта, в Санкт-Петербурге, по информации комитета по транспорту города и ГУП "Горэлектротранс", — более 3 тыс. [4]. В Московской области работает более 5700 автобусов [5]. В других крупных городах — от 1,2 до 1,6 тыс., в средних — около 1 тыс. В Москве под рекламу задействовано 10—20 % парка, а в Санкт-Петербурге — 35—40 % [4].

Актуальность использования рекламы на транспорте возрастает ещё и в связи с тем, что в последние годы значительно активизировалась особая отрасль коммуникативной деятельности гражданских ассоциаций и организаций публичного сектора по налаживанию отношений с органами государственной власти. При этом взаимодействие органов власти с населением осуществляется через средства массовой информации [6]. Использование транспортных интерактивных медиакомплексов позволит значительно сократить путь информационных материалов от органов власти до населения, увеличить их привлекательность и доступность.

В ООО "Городские Интеллектуальные Системы" был разработан и прошёл успешные испытания на различных видах транспорта уникальный **интерактивный медиакомплекс** (ИМК), в котором использованы технологические преимущества ГЛОНАСС. Комплекс (рис. 1) включает: серверное оборудование; базу данных, размещённую на сервере системы; программное обеспечение для удалённой работы с базой данных (администраторы, менеджеры системы, рекламные агентства, автопредприятия и т.п.), которое работает в режиме тонкого клиента через сеть Интернет; программное обеспечение рекламных агентств (для удалённой загрузки в систему рекламного контента), которое работает через *web*-интерфейс; программное обеспечение бортовых медиаустройств, которое работает автономно, с автоматическим обновлением контента с сервера через GPRS-модем; специализированные серверные

сервисы для обмена данными сервера с бортовыми устройствами.

Транспортное средство оснащается многофункциональным бортовым компьютером с операционной системой *Linux*. Он управляет отображением медиаконтента, обеспечивает работу транспортной платёжной системы, систем диспетчерского управления движением, безопасности, информирования и другими подсистемами. В качестве средства отображения информации используются антивандальные мониторы.

Серверное программное обеспечение построено на облачной *web*-технологии и служит для приёма заказов от рекламодателей, формирования и удалённой загрузки контента на бортовые компьютеры и динамичное управление контентом в зависимости от времени и местонахождения транспортного средства, маршрута работы. Система обеспечивает прием *SMS*, их предварительную обработку и оперативное размещение на бортовых мониторах. Для привязки рекламного контента к объектам на дорожной инфраструктуре используются данные бортового приёмника спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS.

Чем отличается ИМК от традиционных медиакомплексов?

Пожалуй, самое главное это то, что контент обновляется в режиме онлайн, настраивается по времени и месту передачи. Кроме того, пассажиры на экранах могут найти полезную информацию о поездке: название остановок и время прибытия на следующую остановку, информацию о пробках, погоде, времени и т.п. В большинстве случаев используются также расширенные функции общения с пассажирами (*SMS*, *Wi-Fi*), которые особенно активно привлекают пассажиров к просмотру контента. По экспертным оценкам движущиеся изображения на цифровых экранах в общественных местах в семь раз более информативны, чем печатные формы наружной рекламы. Рекламные материалы поступают к так называемой "захваченной аудитории". Пассажиры в силу сложившейся ситуации, находясь в дороге, вольно или невольно просматривают рекламные материалы на медиаэкранах, которые чередуются с жизненно полезной информацией другого характера. Реализуется возможность демонстрации геолокационной рекламы, мобильного интерактивного общения с пассажирами.

Управление рекламным контентом и контроль состояния сети мобильных дисплеев осуществляются через серверы инфраструктуры ИМК. Демонстрация рекламных материалов не требует обязательного постоянного подключения мобильных точек показа к Интернету. Автономные бортовые компьютеры по определённому расписанию переносят рекламный контент с серверов в локальное хранилище на борт транспортного средства.

При перемещении транспортного средства изменяются навигационные данные, дата, время, погодные условия и прочие параметры, при этом система обеспечивает адаптацию рекламного контента к ситуации, актуальной для каждой транспортной единицы, к доминирующей демографической группе пассажиров, находящейся в транспорте. Тем самым обеспечивая возможность демонстрации нужного контента, в нужном месте, в нужное время, что обеспечивает адресную подачу материалов и более высокий эффект интерактивной рекламы по отношению к статичной.

ИМК — это не просто реклама, это по сути средство массовой информации. Пассажирам в транспорте даётся не только рекламный контент, но и актуальная полезная информация, которая позволяет скоротать время в пути, может пригодиться в повседневной жизни — погода, новости, полезные советы, предупреждения о возможных катаклизмах, актуальные события и пр.

Кроме того, пассажиры могут сами участвовать в формировании интерактивного контента, публикуя *SMS*, обращения, объявления, комментарии. Любое взаимодействие основано исключительно на желании пользователя. Использование коммерческой интерактивности обеспечивает получение мобильных купонов (скидок), получение более подробной информации о рекламируемом продукте или участие в конкурсах с призами, лотереи и т.п.

Площадь мобильных экранов разбита на несколько зон: зона с актуальной информацией, привязанной к конкретному дню (дата, день недели, время, погода и т.п.); зона для показа новостей поочередно с рекламным контентом; зона для отображения интерактивного взаимодействия с пассажирами (*SMS*); зона отображения дорожной ситуации на маршруте (номер маршрута, следующая остановка, ожидаемое время прибытия к ключевым пунктам, сведения о заторах, авариях и т.п.). Пример отображения рекламного контента на медиаэкране транспортного средства приведён на рис. 2.

Использование ИМК выгодно рекламодателям, автотранспортным предприятиям, городским властям, пассажирам и инвесторам. Яркое движущееся изображение привлекает к себе больше внимания, чем статичные бумажные носители. В замкнутом пространстве транспортного средства сложнее уклониться от просмотра рекламы, да и в этом нет смысла, если реклама чередуется с

Рис. 2. Пример отображения рекламного контента на медиаэкране транспортного средства

полезной информацией. Отсутствуют затраты на печать и распространение печатной продукции, на снятие и утилизацию отработанных материалов. Обеспечивается централизованное управление контентом на всей транспортной сети, возможность доведения до пассажиров большего объёма контента за счёт использования мультимедийных средств, моментального доведения рекламного контента до большого количества пользователей наземного транспорта.

Владельцы общественного транспорта получают дополнительный источник дохода путём предоставления рекламных площадей в салонах транспортных средств. Кроме того, это прекрасная возможность предоставлять пассажирам свою собственную информацию. Администрация города (региона) всегда имеет доступный и качественный канал для взаимодействия с широкими массами жителей. Оперативное информирование населения об изменениях в муниципальной структуре, привлечение внимания жителей к локальным городским событиям. Возможность использования новостных ресурсов в целях пропаганды решений и намерений городских властей.

Для пассажиров скучные ежедневные поездки на работу или учёбу скрасит приятное чтение интересных новостей (кино, спорт, здоровье, события и т.д.), которые объединяет то, что они всегда положительны и приемлемы для широкой аудитории. Кроме того, на экраны может подаваться и другая информация, которая вносит свой вклад в комфортность поездки. Возможно централизованное получение информации о чрезвычайных происшествиях, постоянно обновляемый информационно-новостной контент. Возможность взаимодействия с системой через *SMS*, мобильные порталы и приложения.

Инвесторы, желающие получать доход от рекламы на экранах, имеют возможность сократить дорогостоящие начальные инвестиции, а также риски, которые могут возникнуть в ходе развития и создания собственной системы. Короткий срок окупаемости и рост оборота очень привлекателен для инвесторов. На практике, обычный срок окупаемости инвестиций составляет около двух лет и имеет тенденцию к сокращению. Программное обеспечение системы управления интерактивным медиакомплексом состоит из двух частей — серверного и бортового программного обеспечения (рис. 3).

База данных серверной части системы содержит следующую информацию: перечень и характеристики транспортных средств; перечень бортовых компьютеров и их IP-адреса; привязку бортовых компьютеров к транспортным средствам; перечень рекламодателей, их характеристики и параметры допуска к модулям системы; перечень транспортных предприятий, их характеристики и параметры допуска к модулям системы; перечень пользователей, администраторов и модераторов системы, параметры их допуска к модулям системы; перечень маршрутов, остановок и их геолокационные характеристики; перечень объектов рекламы и их геолокационные характеристики; структура зон бортовых мониторов; типы рекламного контента и их привязка к зонам бортовых мониторов; наименования рекламных материалов с указанием их типов и других характеристик; рекламные материалы; расписание и очерёдность показа рекламных материалов; тексты СМС-сообщений; статистика и отчёты о количестве и времени отображения рекламных материалов на бортовых мониторах; данные о договорах с рекламодателями и транспортными предприятиями; отчёты о финансовых взаимоотношениях между пользователями и владельцами системы управления интерактивным медиакомплексом.

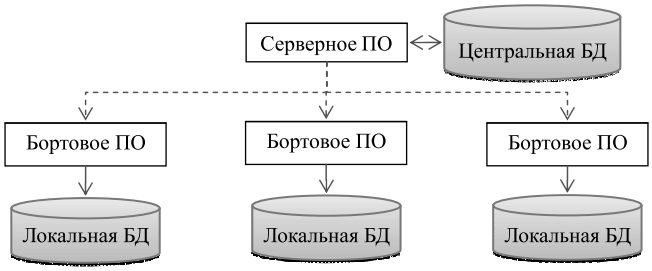
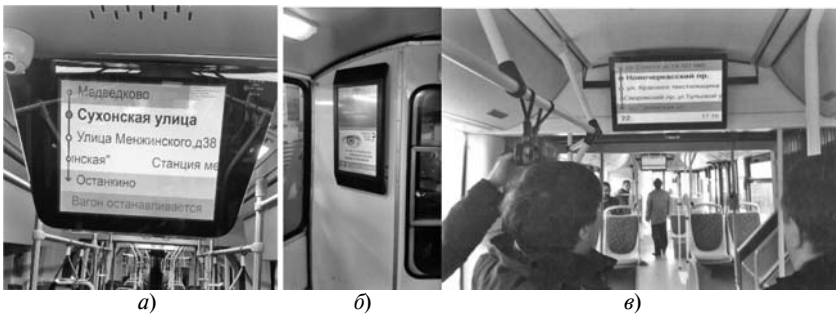


Рис. 3. Структура и состав ПО системы управления интерактивным медиакомплексом



а) *б*) *в*)

Рис. 4. Примеры размещения медиаэкранов:
а — в трамвае; *б* — в троллейбусе; *в* — в автобусе

а) *б*)

Рис. 5. Медиаэкран в вагоне метрополитена:
а — в режиме демонстрации социальной рекламы; *б* — в режиме отображения интерактивной схемы метрополитена

В систему можно завести любое число пользователей с индивидуальным распределением прав доступа, любое количество транспортных предприятий и рекламных агентств на территории РФ, стран ближнего и дальнего зарубежья; подвижной состав и маршрутную сеть транспортных предприятий с привязкой остановок к навигационным данным. Система позволяет удаленно загрузить любое количество объектов рекламы с привязкой к навигационным данным, медиаконтент и осуществлять его модерацию, объединять медиаустройства в группы и формировать расписания показа для групп медиаустройств и т.п.

Медиаконтент показывается как по загруженному с сервера расписанию, так и при попадании транспортного средства в координатные отметки объектов рекламы. Система позволяет в реальном режиме времени (на ходу в фоновом режиме) обновлять с сервера следующие параметры экрана монитора и контента: менять подложки (цвета и стили оформления экрана); менять стили, размеры, цвета шрифтов текстовых информационных полей; менять логотип системы; обновлять данные о погоде; обновлять данные об остановочных пунктах маршрутной сети; обновлять расписание показа медиаконтента, загружать на борт медиаконтент; обновлять смс-сообщения; обновлять оперативные новости.

На борту формируется статистика реального показа медиаконтента, которая в фоновом режиме отправляется на сервер. На сервере формируются отчёты о реальном показе медиаконтента, ведомости взаиморасчётов между рекламными агентствами, транспортными предприятиями и владельцами медиасистемы.

Пилотные проекты по апробации ИМК проводились на автобусах в Санкт-Петербурге, на троллейбусах в Московской области, на трамваях и метрополитене в Москве. Примеры размещения медиаэкранов при опытной эксплуатации системы в трамвае, троллейбусе и автобусе показаны на рис. 4.

В вагонах метрополитена для отображения информации были использованы два вида экранов: сенсорный медиаэкран и удлиненная *LCD*-панель. Сенсорный экран служит для отображения интерактивной карты метро и демонстрации социальной и коммерческой рекламы (рис. 5). Удлиненная *LCD*-панель — для отображения схемы линии метро, местоположения поезда на линии в процессе движения, схемы выходов на каждой из станций, на которых поезд совершил остановку (рис. 6).

Рис. 6. Удлинённый медиаэкран для демонстрации схемы линии метрополитена, положения поезда на линии и схем выходов на промежуточных станциях

На интерактивном сенсорном экране пассажиры имеют возможность выбрать станцию отправления и прибытия, при этом система построит и отобразит оптимальный маршрут с указанием станций пересадок. Схема метро по выбору пассажира может отображаться на русском и английском языках. Через заданные интервалы времени, если пассажиры не используют интерактивную карту, медиаэкран на короткое время автоматически переключается в режим демонстрации рекламных материалов. Расположение медиаэкранов в вагоне метрополитена показано на рис. 7.

Если на метрополитене появятся новые станции, закроются на реконструкцию существующие, то, после внесения соответствующих изменений в базу данных, серверное программное обеспечение автоматически изменит схему метро, перестроит и оптимизирует маршруты движения и пересадок. Эти изменения автоматически закачаются на медиаэкраны при прибытии состава в депо или на конечные станции. Аналогично автоматически обновляется и рекламный контент. Кроме отображения медиаконтента, бортовой комплекс через серверную площадку взаимодействует и с внешними информационными табло. Пример табло отображения времени прибытия поездов для метрополитена и электричек представлен на рис. 8.

Рис. 7. Расположение медиаэкранов в вагоне метрополитена

Рис. 8. Табло для отображения времени прибытия поезда метрополитена на станцию

Рис. 9. Трамвай и автобус с встроенным медиакомплексом на выставке "ЭкспоСитиТранс 2016"

Интерактивные медиакомплексы и реклама на транспорте — достаточно перспективное направление деятельности. Автопроизводители начали выпуск современных автобусов и трамваев, которые уже на заводе оборудованы медиакомплексами (рис. 9). Такие же комплексы имеются в электричках и поездах дальнего следования.

Интерактивная реклама на транспорте — одно из самых перспективных направлений наружной рекламы. Основные её преимущества — это динамичность, действие на больших территориях, охват различных социальных слоев населения, возможность намеренного выделения определённой целевой аудитории с помощью избрания маршрута движения транспорта, доступная цена такого вида рекламы, быстрая окупаемость. Кроме того, повышается оперативность и значительно упрощается обновление рекламного контента при очень низких затратах.

Литература

1. Голубкова Е.Н., Заикин А.А. Реклама на транспорте. http://www.sostav.ru/articles/2002/05/21/rec210502
2. Медиакомплексы для транспорта и рекламные видео комплексы для рекламы. http://www.transport-tv.ru/index.php?id=22
3. Постолит А.В., Прушак А.Л. СИТИУМ. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015610370, Роспатент, 12/01/2015.
4. Реклама на транспорте — кампания с пробегом. http://www.prgp.ru/clauses/stati-o-reklame/reklama-na-transporte---kampaniya-s-probegom/.
5. "Мострансавто", о компании. http://mostransavto.ru/about/about-company/
6. Ачкасова В.А. Технологический комплекс медиарилешнз: особенности реализации в GR-деятельности. Управленческое консультирование № 4, 2012. http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskiy-kompleks-mediarileyshnz-osobennosti-realizatsii-v-gr-deyatelnosti

УДК 629.039.58

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИНЫ ВОЗГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

РАЗГОВОРОВ К.И.
АНО "Экспертно-правовой центр"

Рассмотрена методика по поиску и уточнению причин возгорания автотранспортных средств с применением результатов исследований в рамках независимых автотехнических экспертиз.

Ключевые слова: *причины возгорания автомобилей, автотехническая экспертиза.*

Razgovorov K.I.

METHOD FOR DETERMINING THE CAUSES OF FIRE CAR

The technique to find and clarify the causes of fire vehicles using the results of research in the framework of the independent auto-technical expertise.

Keywords: *causes of car ignition, auto-technical expertise.*

Определение причин возгорания автомобиля является действительно трудной задачей, особенно при проведении автотехнической экспертизы. Ведь прежде чем ответить на вопросы "как" и "почему", необходимо понять состав и расположение всех горючих материалов, имеющихся в данном транспортном средстве. Нужна информация о температурах воспламенения или вспышки, точках плавления материалов.

Пожары [2, 4—5] чаще всего возникают в моторном отсеке, так как это наиболее горячая зона автомобиля. За короткий период времени такой пожар может нанести существенный ущерб: обычно основные повреждения происходят в течение 15 минут после возгорания. При сильных пожарах уничтожаются и следы причин пожаров, поэтому проведение экспертизы в таких случаях практически невозможно. Определение причины возгорания в моторном отсеке затрудняется множеством легковоспламеняющихся предметов и жидкостей, которые передают пламя друг другу. Например, предположим, что перегрелся какой-либо электрический провод. Его виниловая оболочка расплавилась и подожгла соседний провод, после чего происходит короткое замыкание и металл провода начинает плавиться с образованием характерных шариковых наплывов на концах, подобно наплывам на сварочном электроде. Далее возгорание передаётся другим горючим материалам. Жгут проводов в данном случае будет являться своеобразным фитилем. Теперь предположим, что распространившийся пожар в моторном отсеке вызвал возгорание бензопровода. Тогда вторичное возгорание будет более интенсивным, чем первичное, и это может ввести эксперта в заблуждение, а короткое замыкание будет признано вторичным. Как и в большинстве пожаров, автомобильные возгорания не обязательно определяются площадью повреждений.

Возгорания транспортных средств могут быть вызваны дефектными или изношенными компонентами, некачественным ремонтом, возрастом или обычным износом и отсутствием надлежащего технического обслуживания. Перед тем как изучать сам сгоревший автомобиль, желательно узнать историю его обслуживаний.

Современные автомобили содержат сотни килограммов пластических материалов (примерно 250—350 кг, в зависимости от модели). Большинство из них — термопласты, которые содержат антипирены (замедлители горения). Температура плавления термопластов составляет примерно 150 °С и выше. После начала плавления антипирены вытесняются и пластик начинает гореть.

Пенополиуретан — стандартный материал для отделки интерьера современного автомобиля. Он содержится в подушках сидений, облицовке дверей, консолях и подлокотниках. Пенополиуретан, если его поджечь, горит не хуже бензина. Салон среднестатистического легкового автомобиля сгорает примерно за 5—10 минут.

Возгорание антифриза. Для многих экспертов антифриз представляется негорючей жидкостью, поэтому истинная причина возгорания может остаться без внимания. Между тем множество легковых и грузовых автомобилей на сегодняшний день рискуют загореться из-за протечки антифриза на раскалённые поверхности выпускного коллектора, да и самого блока двигателя.

Такие пожары наиболее часты на старых автомобилях. При проведении экспертизы часто можно услышать, что при движении перед возгоранием водители замечали пар от перегрева двигателя, выходящий из моторного отсека, а когда они останавливались, машина загоралась. Что же происходило в данном случае? Антифриз представляет собой смесь этиленгликоля и воды в пропорции примерно 50/50. Этиленгликоль начинает испа-

ряться при температуре около 110 °С, а воспламеняется при температуре 410 °С. В разнообразных бензиновых двигателях, особенно оснащённых турбонаддувом, эти температуры могут быть значительно превышены по отношению к температуре воспламенения этиленгликоля.

Лабораторные испытания показали, что возгорание этиленгликоля происходит при утечке жидкости. Когда горячая смесь антифриза попадает на выпускной коллектор, вода, закипая, начинает испаряться, после чего уже оставшийся маслянистый этиленгликоль воспламеняется даже при температуре 120 °С. В реальных условиях это означает, что даже случайная искра может воспламенить пары этиленгликоля. После воспламенения этиленгликоль горит ровным сильным пламенем и может поджечь другие материалы в моторном отсеке. Температура горения этиленгликоля около 700 °С, этой температуры более чем достаточно для плавления алюминиевых радиаторов, корпуса насоса кондиционера или даже клапанных крышек. Такие пожары имеют вид поджогов, так как расплавление алюминиевых радиаторов происходит сверху вниз и имеет V-образный вид. Воспламенение антифриза практически невозможно при холодном двигателе, что очень важно для проведения независимой экспертизы причин возгорания автомобиля, сразу же исключающей эту версию.

Бензиновые пожары. Такие пожары происходят из-за различных неисправностей топливной магистрали, системы впрыска топлива и бензобака. Особенно для современных автомобилей, где электронасос подкачки топлива расположен прямо в топливном баке. Интересная особенность системы безопасности большинства насосов состоит в том, что они должны получать импульс давления обратного слива топлива иначе система немедленно выключается. То есть, если повреждён топливопровод, то давление упадёт. К сожалению, малые утечки топлива никак не отразятся на этой системе, и при возгорании топливопровода бензин будет поступать непрерывно к месту возгорания.

Самовоспламенение паров бензина может произойти при температуре 430 °С, однако при наличии искры бензин воспламеняется при температурах до −42 градусов, так как сама искра может иметь температуру в 1900 °С.

Обычно бензиновые пожары начинаются в месте установки инжектора или карбюратора. А при длительном горении могут вызвать их деформацию и увеличение поступления топлива к очагу горения. Деформации начинаются при нагревании металла от 480 °С. Такое воспламенение приводит к сжиганию краски под капотом и над ним в месте горения топлива из-за высокой интенсивности процесса. Во многих случаях места утечки топлива несложно найти по характерным трещинам в металлических патрубках топливопровода, однако для тех машин, где используется пластик, найти причину утечки топлива становится практически невозможно.

Возгорание масла. Иногда при доливке масла неосторожные водители проливают его на двигатель, после чего оно попадает на коллектор. Как и любой нефтепродукт, масло может загореться уже при температуре 450 °С. Такие пожары — не редкость. Однако место возгорания может привести к ошибочному выводу о возгорании топлива. Такие жидкости как тормозная или жидкость гидроусилителя руля могут гореть лишь при открытом пламени, но их поступление в зону возгорания часто приводит к усилению пламени, поэтому можно сделать ошибочное суждение о месте возгорания под капотом.

Короткое замыкание электропроводки. Поиск места замыкания — это очень кропотливая работа и она может занимать много времени. Если цел блок предохранителей, то его осмотр может показать направление развития внутренних пожаров электропроводки, хотя разделение проводов сгоревшей косы может потребовать много времени. Также следует отметить, что много проводов не имеют предохранителей из-за своей длины. При перегреве такие провода становятся хрупкими. Если короткое замыкание было на провод массы, то в месте замыкания можно обнаружить по следам оплавления проводки.

Согласно представленной методике исследования пожаров, установление причин возгорания проводится методом последовательного исключения. Исходя из функциональных особенностей исследуемого объекта (автобиль), установленного экспертным путём очага пожара, возможными причинами возгорания автомобиля могли послужить: возгорание горючей жидкости из-за утечки из топливной системы; тепловое проявление процессов, сопровождающих аварийный режим работы электросети.

Анализ причин возникновения пожара на автотранспортных средствах показывает, что наиболее часто первичными являются возгорания горючих жидкостей из-за утечки из топливной системы, а также неисправности электрооборудования.

В электросистеме такими деталями являются: изоляция токопроводящих жил участков электропроводов, корпуса и радиодетали электронных узлов. Анализ показывает, что в АТС различных марок для этих целей используются практически

одни и те же материалы. В качестве оболочек (изоляторов) используются полиэтилен, поливинилхлорид и резина. Платы в электронных узлах изготавливаются из бумажно-слоистого пластика или стеклопластика. В корпусах и ряде радиодеталей используются пластические массы, компаунды, пропитанная бумага, лакокрасочные материалы и т.п.

Пожарная опасность электросистемы АТС определяется тем, что отдельные её элементы могут послужить источником горения в случае возникновения аварийного режима в какой-либо функциональной цепи. Потенциальная опасность возникновения аварийного режима определяется прежде всего тем, что провода электрической сети во многих местах прокладываются в пакетах кузовных конструкций, где расстояние от горючих конструкционных материалов строго определено и не может быть увеличено. Рабочие элементы и изоляция проводов часто находятся в непосредственном контакте с необработанными (с острыми кромками) металлическими деталями, которые не закреплены и подвергаются постоянной вибрации, трению, что может вызвать повреждение изолирующего слоя.

Непосредственно сама электрическая система обладает достаточным запасом энергии, способным при возникновении короткого замыкания незащищённых участков цепи (система зажигания, цепь пуска двигателя, система генератора и др.) вызвать нагрев и расплавление металлической жилы провода данной цепи, воспламенение его изоляции и горючих материалов. Например, при коротком замыкании "плюсового" провода от аккумуляторной батареи на кузов автотранспортного средства ("массу") возникает ток короткого замыкания порядка 1000—1100 А.

Особую опасность в электрической системе представляют разъёмы различных проводов, в которых из-за работы в условиях повышенной влажности и постоянной вибрации может возникнуть неплотный контакт, вследствие чего в данной цепи при включении электропотребителей возникают искровыделение и местный нагрев. Характерный признак дугового (произошедшего в результате аварийного режима работы) оплавления — локальность. Оплавление обычно происходит в узкой зоне, где при коротком замыкании металл плавится в плазменном канале электрической дуги. На расстоянии 1—2 см от оплавления жила может не иметь явно выраженных изменений, если вторичный нагрев в ходе пожара не внесёт соответствующих корректив. Форма дугового оплавления чаще всего шарообразная, но не только: в зависимости от взаимного расположения поверхностей, между которыми произошёл дуговой разряд, дуговое оплавление может иметь форму косого среза, кратера (рис. 1).

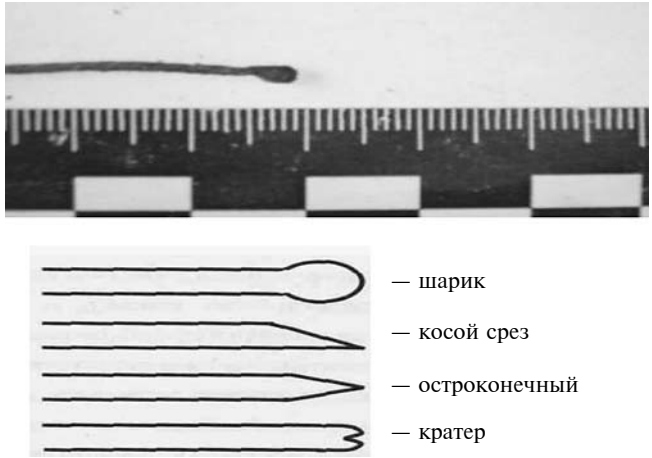


Рис. 1. Фрагмент жилы медного проводника при коротком замыкании

Термические поражения от тепла пожара (нагрева непосредственно пламенем, лучистыми тепловыми потоками, конвективными потоками) не локализованы в одной точке или узкой зоне, как при коротком замыкании, они рассредоточены по проводу. Термические поражения провода постепенно нарастают по мере приближения к месту основного оплавления. Провод становится хрупким, меняется по сечению, отдельные проволоки в жилах спекаются между собой и не разделяются. Возможны множественные мелкие подплавления на поверхности провода. Крупные расплавленные капли ориентированы вниз вследствие земного притяжения.

Источниками возгорания могут быть горячие отработавшие газы при нарушении герметичности системы выпуска в непосредственной близости от горючих материалов; детали отопителей при перегреве; занесённый источник открытого огня. Наиболее напряжённый температурный режим в моторном отсеке создаётся в зоне выпускного тракта от коллектора до выхлопной трубы глушителя. Температура отработавших газов по длине выхлопного тракта составляет 800—830 °С, температура поверхностей по длине выхлопного тракта ниже и может достигать 710—770 °С.

Согласно справочным данным [6], при возникновении первоначального горения в моторном отсеке легкового автомобиля, находящегося на стоянке, пламя распространяется в объём салона через 8—10 минут. Полностью салон загорается ещё через 1—2 минуты. Затем нарушается герметичность топливной системы и горит вытекающее топливо. При загорании в салоне автомобиля с открытыми окнами от модельного источника зажи-

гания, расположенного на заднем сидении, остекление разрушается примерно через 6 минут. Видимое загорание салона, моторного и багажного отсеков заканчивается через 30 минут. Через 45 минут наблюдается только беспламенное тление сидений, шин, декоративно-отделочных и конструктивных материалов.

В связи с относительно небольшими размерами автомобилей (особенно малолитражных легковых), быстротечностью пожаров АТС и, в случае непринятия активных мер по ликвидации горения в начальной стадии и его развитии на весь объём автомобиля, установление очага пожара вызывает повышенную сложность. Зачастую, в результате уничтожения в процессе относительно длительного горения дифференцирующих очаговых признаков, возможно установление только приблизительного места возникновения первоначального горения (салон, моторный или багажный отсеки), а нередко установить очаг пожара в автомобиле не представляется возможным.

При проведении осмотра моторного отсека фиксируется степень термического воздействия на узлы и агрегаты, расположенные в подкапотном пространстве. Следует уделить особое внимание карбюраторам, инжекторам, топливным насосам, топливопроводам, системе выпуска отработанных газов, электрооборудованию и жгутам электропроводки. В случае необходимости данное оборудование следует изъять для проведения последующего его исследования. Необходимо зафиксировать наличие аккумуляторной батареи, выключателя "массы", находилось ли электрооборудование автомобиля под напряжением на момент термического воздействия.

Так, например, осмотр подкапотного пространства сгоревшего автомобиля марки "Мазда CX-7" позволил установить, что максимальные термические повреждения находятся с левой стороны двигателя (по ходу движения автомобиля).

Рис. 2. Общий вид сгоревшего моторного отсека

Рис. 3. Фрагмент электропроводки моторного жгута

Блок предохранителей, АКБ, резиновые шланги и радиатор полностью сгорели (рис. 2).

При исследовании электропроводки установлено: отсутствуют следы короткого замыкания (рис. 3). Изоляция отсутствует полностью. Металл проводников (медь) на большем протяжении хрупкий, ломкий, тёмно-красного цвета. Часть тонких проводников отгорела в средней части жгута. Указанные признаки характерны для медной проволоки, длительное время подвергающейся действию высокой температуры.

Большая часть имеющихся на концах проводников разъёмов целые с хорошим обжимом проводников и плотной посадкой в зажимах. Морфология поверхностей оплавлений и соседних с ним участков разъёмов характерна для оплавлений, образованных в результате сильного длительного нагрева.

Следует подчеркнуть, что все эти виды оплавлений имеют общие признаки, характерные для медных проводников: значительные изменения сечения по длине; протяжённая зона оплавления; произвольные формы оплавления; сплавление отдельных проволочек в жиле между собой. Данные признаки характерны для медных проводников, оплавленных в результате термического воздействия, а не токов короткого замыкания [2]. На силовой электропроводке, идущей от генератора и аккумуляторной батареи также отсутствуют следы короткого замыкания (рис. 4 и 5).

При возникновении пожара в подкапотном пространстве автомобиля температура газовой среды в месте расположения силового кабеля значительно превосходит температуры плавления изоляции кабеля (120—140 °С). Второй провод со стороны клеммы (−), идущего с батареи, также не имеет следов короткого замыкания.

В двух зонах имеются повреждения металла проводников в результате длительного термического воздействия, о чём свидетельствует цвет и

ломкость медных проволочек жил в этих зонах. Так как проволочки жил медного проводника мало изменили свои свойства в области расположения перемычки, а сами жилы между собой не сплавлены, можно утверждать, что такой нагрев мог происходить от внешних термических воздействий. Генератор внешних повреждений и следов короткого замыкания не имеет (рис. 6).

Как показало исследование, генератор на момент пожара был исправен, следов короткого замыкания на жгуте проводников, идущих от генератора, не имелось. Следовательно, причиной такого повреждения могла быть только высокая температура пожара в подкопотном пространстве.

Учитывая, что возгорание данного автомобиля произошло в момент его движения, а не в момент включения двигателя (т.е. в момент, когда стартёр не работает), эксперты исключают возможность повреждения изоляции силового кабеля от действия токов большой величины, возникающих при запуске неисправного стартера.

При осмотре выхлопной системы повреждений элементов и нарушения целостности их соединений не обнаружено (рис. 7). При изучении уцелевших деталей топливной системы дефектов не выявлено. Таким образом, причина возникновения огня в результате возгорания горючей жидкости из-за утечки из топливной системы и прорыва отработавших газов представляется маловероятной.

Рис. 4. Фрагмент электропроводки аккумуляторной батареи со стороны клеммы (+)

Рис. 5. Фрагмент электропроводки, идущей от генератора

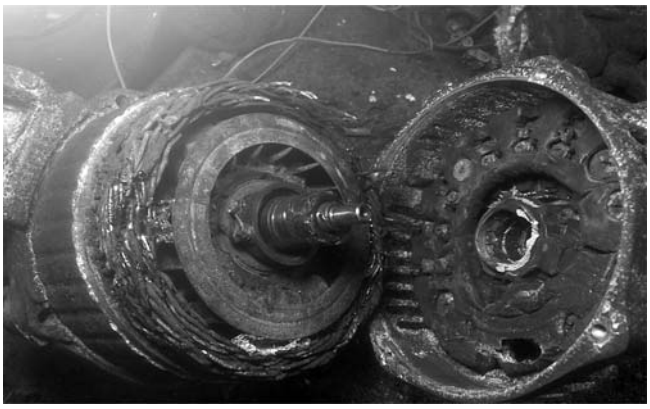


Рис. 6. Генератор автомобиля

Рис. 7. Соединение выпускного коллектора и катализатора

Возгорание в двигательном отсеке автомобиля возможно в результате одновременного действия нескольких факторов, а именно: наличия источника зажигания; наличия в месте расположения источника зажигания горючего вещества; достаточной зажигательной способности источника для поджога этого горючего вещества; подготовленности горючего вещества к воспламенению. В нашем случае источниками зажигания явились сильно нагретые поверхности.

Горючие вещества в подкапотном пространстве автомобиля имеются следующие: бензин, моторное масло, жидкость автоматической коробки передач, электролит, антифриз, жидкость ГУР; резина шлангов; пластмасса изоляции электропроводов; пластмасса установочных изделий (корпуса реле, блоков предохранителей, корпус аккумуля-

тора и т.д.); инородные предметы, забытые при выполении ремонта.

Зажигательная способность коллектора определяется температурой его поверхности и длительностью теплового воздействия. Так как коллектор нагревается при работе двигателя и его температура зависит от длительности работы двигателя, то его зажигательная способность возрастает при увеличении длительности работы двигателя. Горючий материал, находящийся на поверхности коллектора, может воспламениться через некоторое время, когда температура поверхности коллектора станет равной температуре самовоспламенения данного материала.

Зажигательная способность открытого пламени значительная, но при условии, что огонь действует на горючий материал в течение некоторого времени, необходимого для подготовки данного материала к горению.

Зажигательные способности искр малы из-за малого размера раскалённых частиц, которыми и являются искры. Малый размер теплосодержащего материала определяет большую скорость охлаждения данных частиц. Таким образом, свою зажигательную способность искры сохраняют при разлёте на небольшом расстоянии от источника образования искр. (В качестве примера можно рассмотреть расстояние в зажигалке от кремния до газового сопла.)

Подготовленность горючего материала к возгоранию определяется способностью данным материалом поглощать и удерживать (аккумулировать) поступающее извне тепло, при достижении поверхностным слоем определённой температуры выделять горючие газы. Показателем подготовленности является температура воспламенения данного материала. Так, температура воспламенения полиэтиленовой изоляции и изделий из него составляет 400 °С, резины 270 °С, бензина при −36 °С. Таким образом, чтобы указанные материалы загорелись, нужно, чтобы их поверхность была нагрета до указанных температур.

Отсутствовала утечка мотроного масла и жидкости автоматической коробки передач (уровни жидкостей в пределах нормы). Исключается также возможность первичной утечки топлива, так как предварительная природа возникновения огня — плавление деталей (наблюдалось задымление). Из перечня возможных источников зажигания следует исключить искры от механического трения или удара, что делало невозможным образование высокотемпературной искры.

Рассмотрим основной сценарий пожара.

1. На выпускном коллекторе в связи с его конструктивными особенностями, при работающем двигателе, температура возрастает и удерживается длительное время. Данная температура достаточна для возгорания какого-либо предмета, изготовленного из пластмассы или резины. Температура поверхности коллектора может быть различной, в зависимости от режима работы двигателя. Если учесть, что выхлопные газы за выпускными клапанами в двигателе внутреннего сгорания могут иметь температуру от 100 до 750 °С при работе на максимальной мощности. Следовательно, коллектор мог являться источником зажигания.

2. Поверхность проводника покрыта слоем изоляции из полиэтилена. Поэтому при нагреве проводника возможно лишь воспламенение изоляции, а не резины или бензина. Выпускной коллектор является источником зажигания. Следовательно, изолятор проводника или инородный предмет мог являться источником возгорания.

3. Зажигательной способности искры электрической природы недостаточно для воспламенения резины и пластмассы. Также до момента остановки двигателя свидетелями пожара должны были быть замечены признаки этого пожара: сбои в работе двигателя, самопроизвольные включения и переключения различных систем автомобиля и индикаторов на контрольной панели приборов в салоне.

4. Горячие продукты горения под действием потока воздуха будут отклоняться в верхнюю часть двигателя, сосредотачиваться в месте нахождения пластикового корпуса воздуховода, жгута электропроводки, идущего из-под капота в салон. Сверху распространение горячих продуктов горения ограничено капотом. Первичное воспламенение электропроводки и пластика под капотом автомобиля привело к разгерметизации и возгоранию элементов топливной системы автомобиля с последующим обширным горением бензина.

Литература

1. Руководство по организации диагностирования легковых автомобилей на СТО системы "Автотехобслуживаиие": РД 37,009.010—85. — М.: Филиал НАМИ Минавтопрома СССР. 1985.
2. Митричев Л.С., Колмаков А.И. и др. "Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия". М., МВД ВНИИ. 1986 г.
3. Хрулев А.Э. Об экспертизе, причинно-следственных связях и экспертах, ч. 1. — "Автомобиль и сервис", № 6/2008.
4. "Пожарная опасность веществ и материалов", под ред. Рябова, М., 1966.
5. "Рекомендации по исследованию пожаров на автотранспорте". Испытательная пожарная лаборатория УГПС ГУВД г. Москвы.
6. Исхаков Х.И., Пахомов А.В., Каминский Я.Н. Пожарная безопасность автомобиля. Москва, "Транспорт", 1987.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Козловский В.Н., Шанин С.А., Дементьев С.А. — Методика контроля эффективности деятельности предприятий сервисной сети автопроизводителя 1

АСМ-факты 7

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Марков В.А., Мягков Л.Л., Маластовский Н.С., Блинов А.С. — Моделирование испарения и термического распада мочевины в системах выпуска дизелей 8

Дьяков И.Ф. — Способ снижения шума отработавших газов двигателя внутреннего сгорания 15

Тарасик В.П. — Математическое моделирование прямолинейного движения автомобиля 19

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Рябчинский А.И. — Проблемы обеспечения безопасности АТС в России 23

Постолит В.А., Прушак А.Л., Савранский А.С., Николенко М.Е., Хазиев А.А. — Опыт и перспективы использования интерактивных медиакомплексов на транспорте 28

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Разговоров К.И. — Методика определения причины возгорания автомобиля 34

Главный редактор Н.А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Балабин И.В. — *д-р техн. наук, профессор Университета машиностроения (МАМИ)*
Бахмутов С.В. — *д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"*
Гируцкий О.И. — *д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ*
Гладков В.И. — *канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"*
Ковригин А.С. — *зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"*
Комаров В.В. — *канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО "НИИАТ" по научной работе*
Коровкин И.А. — *исполнительный директор НП "ОАР"*
Котиев Г.О. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана*
Круглов С.М. — *зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"*
Ксеневич Т.И. — *канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русаен"*
Мамити Г.И. — *д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)*
Марков В.А. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана*
Николаенко А.В. — *д-р экон. наук, ректор Университета машиностроения (МАМИ)*
Сорокин Н.Т. — *д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России*
Тер-Мкртичьян Г.Г. — *д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"*
Титков А.И. — *канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"*
Топалиди В.А. — *канд. техн. наук, ТАДИ*
Филимонов В.Н. — *ответственный секретарь "АП"*

Белорусский редакционный совет:

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

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русаен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 11.09.2017. Подписано в печать 05.10.2017.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

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

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № 77-7184
Цена свободная.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, в базу данных *"CHEMICAL ABSTRACTS"*.

За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.
Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.