



ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113:339.137.2

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ В СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Д-р техн. наук КОЗЛОВСКИЙ В.Н.; кандидаты техн. наук АЙДАРОВ Д.В.,
ВАСИЛЬЕВ М.М.; ГАФАРОВ Р.Р.

Самарский ГТУ, Самарский НЦ РАН, Международный институт рынка
(846.278-44-60)

Представлены результаты разработки и реализации самонастраивающейся целевой функции в системе оценки качества в автомобильной промышленности.

Ключевые слова: стратегический менеджмент, качество, автомобильная промышленность, мониторинг качества.

Kozlovskiy V.N., Aydarov D.V., Vasiliev M.M., Gafarov R.R.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A SELF-TUNING TARGET FUNCTION IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY QUALITY ASSESSMENT SYSTEM

The article presents the results of the development and implementation of a self-adjusting objective function in the automotive industry quality assessment system.

Keywords: strategic management, quality, automobile industry, quality monitoring.

Учитывая активное движение целого ряда развитых государств от параметров пятой модели технологического уклада к шестой, темпы развития научно-технического прогресса в ближайшее время будут только ускоряться. Все это происходит в условиях острейшей международной конкуренции и беспрецедентных ограничений, накладываемых одними глобальными игроками рынка на других. Уже сейчас очевидно, что среди ключевых *KPI* — качество, в самом широком смысле, будет первейшим фактором доминирования. Значимость и всеобъемлющая сущность его в ближайшее время будет только возрастать и расширяться.

Анализируя направления развития научной мысли в части разра-

ботки и повышения эффективности методов измерения и оценки качества объектов управления, а также развития научно-программных комплексов, обеспечивающих возможности для сбора и обработки значительных массивов электронных данных и реализующих их технических средств, в контексте глобализации процессов и развития международных стандартов ISO 9001:2015 и IATF 16949:2016, можно прийти к выводу о необходимости скорейшей реализации концепции цифровой среды поддержки управления конкурентоспособностью на промышленных предприятиях и в организациях машиностроительного комплекса страны.

Развитие комплексных цифровых инструментов качественного управ-

ления, на основе международных стандартов, фундаментом которых являются процессность и системность (чего нам часто не хватает), должно быть первейшим приоритетом отраслевых улучшений. А учитывая, что современные требования к управлению, даже исходя из позиций ISO 9001:2015, отнюдь не ориентированных на лидеров, а скорее представляющих собой квинтэссенцию положений подтягивающих середнячков и отстающих, становятся всё более глобальными, нам вообще следует призадуматься о будущем нашего промышленного комплекса. Здесь требуются меры, направленные на опережающее развитие соответствующих технологий.

В ландшафте концепции один из знаковых элементов — процесс определения целевых показателей конкурентоспособности, которые, имея интегральную сущность, должны обладать таким важным свойством, как *самонастройка*. Иными словами, необходимо разработать живую целевую функцию качества, которая могла бы периодически самонастраиваться, исходя из постоянно меняющихся условий, определяющих корпоративную актуальность ключевых индексов качества, внутренних достижений, а также внешних условий. Живая целевая функция качества должна обеспечивать самонастройку оперативно: по сути, в тот момент, когда нарушается баланс в триаде фундаментальных требований, предъявляемых к целям по измеримости, напряжённости и до-

стижимости. Требования по обеспечению живости и балансу целевой функции качества не являются чем-то вроде фантастического видения будущего. Напротив, необходимость в их реализации определяется текущей практикой и опытом деятельности. Живая целевая функция способна в нужный момент подтолкнуть развитие корпоративной системы, оберегая её от застоя. В качестве аналогии предлагаемой функции можно представить значительно усложнённый механизм постановки и достижения спортивных целей, когда со временем мировые рекорды становятся частью устойчивой практики, а целевые индексы уходят далеко вперёд, формируя требуемую амбициозность развития.

Дело в том, что на протяжении последних десятилетий мы со сути наблюдаем процесс беспримерного усложнения измерительных процессов и численного роста измеряемых показателей в области качества. И если в самом начале пути можно было достаточно просто и успешно оперировать целевым показателем уровня отказов технически сложной продукции, а далее с учётом прибавившегося к нему показателя дефектности и даже затрат на обеспечение надёжности процесс определения целей сильно не изменился, то сегодня существуют и активно используются на практике уже сотни, а то и тысячи показателей, актуализация которых на предприятиях проводится в разных подразделениях и требует массы усилий и ресурсов. К сожалению к этому процессу, не считая деятельности по разработке методологии формирования целевых индексов, корпоративная служба качества часто имеет весьма косвенное отношение, поскольку всю основную работу по выбору и актуализации показателей качества процессов проводят эксперты соответствующих подразделений. В лучшем случае аналитики службы качества участвуют в их согласовании и мониторинге. Всё остальное остаётся за кадром. А что мы собственно подразумеваем под остальным? А это, между прочим, весьма чувствительные ключевые вопросы, определяющие правильность использования соответствующей стандартизированной методо-

логии, нарушение которой может катастрофически отразиться на развитии корпорации, поскольку мы говорим о горизонтах конкурентоспособности. Кроме того, на вскрытые недостатки, с учётом текущего развития информационных технологий, нужно смотреть уже как на отклонения от требований к системности и процессности управления. Именно так, поскольку сегодня уже можно разрабатывать и внедрять живые целевые функции качества, которые в гораздо большей степени ориентированы на постоянное и эффективное улучшение, чем те подходы, которыми мы оперируем. И не заниматься этими вопросами — значит не думать о будущем, не смотреть вперед.

Концептуальное видение самонастраивающейся (живой) целевой функции качества рассмотрим на примере разработки и реализации системы оценки качества деятельности поставщиков автосборочного предприятия (система оценки). Тем более, что вопрос организации такой системы остаётся чрезвычайно актуальным и с точки зрения развития соответствующих требований международных стандартов ISO 9001:2015 и IATF 16949:2016.

В разрезе требований стандарта ISO 9001:2015 актуализация разработки и реализации системы оценки определяется следующим образом. "Организация должна определить и применять критерии для оценки, выбора, мониторинга показателей деятельности и переоценки внешних поставщиков на основе их способности осуществлять процессы или поставлять продукцию и услуги в соответствии с установленными требованиями. Организация должна сохранять документированную информацию об этих видах деятельности и всех необходимых действиях, являющихся следствием оценки".

В контексте развития стандарта IATF 16949:2016 требование по созданию системы оценки качества обосновывается необходимостью определения критериев выбора поставщиков на документированной основе и реализации подходов к оценке рисков поставщиков при многофункциональном принятии решений, а также дополнительных требований к источникам данных

об удовлетворённости потребителей, менеджменту специальных характеристик, анализу осуществимости устойчивого производства продукции в заданных объёмах, входным и выходным данным проектирования и разработки продуктов и технологических процессов, планированию предприятия, производственных помещений и оборудования, планам управления, верификации настроек, составлению графиков производства.

Очевидно, что любая система оценки качества деятельности, являющаяся частью системы менеджмента качества, спроектированной на основе ISO 9001:2015, должна опираться на все семь актуализированных принципов. Однако, в первую очередь, для нашей практики наиболее важны принципы лидерства руководства и принятия решений, подкреплённых фактами.

Работа по реализации первого из наиболее важных выделенных нами принципов критически сложна в плане её обеспечения, но всё же обладает некоторой однозначностью. Здесь позиция руководителя определяет уровень развития системы. Если директор по качеству — системный менеджер и его личные качества пригодны для этого и имеется взаимопонимание с первым руководителем, то успех обеспечен.

Реализация второго, как раз с точки зрения проблемы обеспечения однозначности, обладает критической сложностью. Ведь любая измерительная и аналитическая деятельность не бесспорна, её результативность и эффективность определяются параметрами адекватности используемых моделей. Иными словами, всё на самом деле является не тем, чем кажется, особенно на первый взгляд. Поэтому важно точное понимание предмета измерения и принятия решений. Также важный аспект для уяснения ситуации — термины и определения. Требуется разработать такую группу индикаторов деятельности, которые обладают на текущий момент наибольшей важностью, но могут заменяться на другие индикаторы по мере потери этой самой важности. Также требуется методология измерения, расчёта и трансформации показателей нижнего уровня в показатели

более высокого уровня, при которой весь процесс будет обладать полнотой, достоверностью и прозрачностью, а итоговый показатель, который как раз и определит целевую функцию, — актуальностью и высоким уровнем адекватности.

Вполне естественно, что процесс реализации самонастраивающейся целевой функции должен проходить через цифровую интеллектуализацию, в рамках эффективно действующей человеко-машинной системы. Иными словами весь процесс, начиная со сбора данных, их обработки, заканчивая оценкой текущего состояния исполнения целевых индексов и определением на их основе новых целевых границ, должен быть максимально автоматизированным. В этом состоит прямой путь к более высокому уровню управления, заключающийся в переходе к самонастраивающейся системе как кибернетической адаптивной системе, в которой запоминание информации (накопление опыта) выражается в изменении тех или иных её параметров, существенных для целей системы. Как нам видится, этот аспект определяет основной замысел предлагаемой концепции. И именно этого не хватает многим корпоративным системам оценки качества. И, кстати, этого крайне не хватает популярным сейчас рейтингам оценки эффективности организаций, регионального управления, бизнеса и т.д. У них не просматривается системности и преемственности будущего развития. Мы просто видим множество цифровых "игрушек" мониторинга (модных рейтингов, таблиц, систем оценок и др.), которые по мере устаревания и потери актуальности уходят с соответствующих экспертных рынков оценки. А вот инструментов системных, работающих и развивающихся на протяжении нескольких десятилетий, — немного. Но ведь именно такие инструменты способны вскрывать наиболее острые проблемы развития и обеспечивать эволюцию улучшений.

На пути к разработке и реализации системы оценки качества, необходимо выделить перечень первичных задач, которые следует решить. Эти задачи: подбор оцениваемых критериев; компоновка оценок; создание правил сбора данных; созда-



Рис. 1. Создание правил сбора данных

ние правил обработки данных; создание форм отчётов и правил представления результатов; создание правил реагирования; интеграция в технологическую информационную систему.

Предлагаемый перечень критериев в полной мере отражает основные требования IATF 16949:2016 и включает в себя показатели высокого уровня: совокупный уровень качества поставок; уровень организации поставок; степень лояльности поставщика; перспективность поставщика. Состав показателей высокого уровня представлен в таблице. Идея предлагаемой системы оценки качества, отражающая максимальную автоматизацию процесса сбора данных, реализована в виде схемы, показанной на рис. 1.

Правила обработки данных, как и во многих других аналогичных системах оценки, определяются с помощью квалиметрического подхода, и соответствующая интегральная оценка деятельности поставщика по качеству определяется как сумма частных балльных оценок с учётом их значимости: $B = K_1B_1 + K_2B_2 + K_3B_3 + K_4B_4$, где K_1, K_2, K_3, K_4 — коэффициенты относительной значимости (весомости) частных оценок, определяемые экспертным путём (сумма коэффициентов относительной значимости равна единице); B_1, B_2, B_3, B_4 — частные балльные оценки деятельности поставщика.

Балльные оценки показателя качества (B_i) в зависимости от полученных частных (b_{ij}) получают переводом в соответствии с принятыми стратегиями. Стратегии эти могут быть различными и в общем виде их подразделяют на группы: чем меньше частный показатель, тем выше (ниже) балльная оценка; чем ближе частная оценка к среднему показателю, тем выше (ниже) балльная оценка и т.д.

Далее в качестве примера рассмотрена конкретная стратегия изменения показателя качества "чем меньше частный показатель, тем выше балльная оценка". Предлагаемая нами зависимость перевода частного показателя в балльную оценку должна представлять собой нелинейную гладкую кривую (рис. 2).

Проблема в том, что практический опыт реализации обычной (линейно-дискретной) модели балльной оценки приводит к снижению объективности частных оценок качества. Изображающую на рисунке графическую функцию линейно-дискретной модели мы обозначили как "Было", поскольку в начале процесса реализации системы оценки качества именно так была настроена наша дискретная шкала. Однако поставщики и эксперты через некоторое время начали говорить о её несправедливости для пограничных значений. Например, результаты 0,79 и 0,81 отличаются всего на

0,02 или примерно 2,5 %. Балльная же оценка, соответствующая этим частным оценкам, может определяться как 8,5 и 12 соответственно. Получается, что отличие в балльной оценке составляет 3,5 единицы, или около 40 %. Это, конечно, несправедливо и не объективно. Поэтому замена общепринятой линейно-дискретной модели оценки на нелинейную функцию перевода частных

оценок в балльные — задача чрезвычайно актуальная и важная.

Нами эта задача была решена: соответствующее изображение нелинейной функции на рис. 2 обозначено как "Стало". Теперь на непрерывной шкале изменения частного показателя происходит соответствующее непрерывное изменение значения итогового балльного показателя.

Полученная нелинейная кривая построена по правилам (рис. 3). Сначала необходимо рассчитать среднее значение для всех поставщиков и поставок за период и так настроить кривую, чтобы среднему значению аргумента соответствовало значение функции, равное 10. Далее можно проводить ежемесячную оценку, используя эту кривую. Поставщики, сработавшие лучше среднего значе-

| Балльные оценки деятельности | Частные оценки деятельности | Наименование показателя | Периодичность регистрации подачи | Ответственный за выполнение |
|--|-----------------------------|--|----------------------------------|--|
| В ₁ | b ₁₁ | *Уровень качества в состоянии поставки, при переработке и испытаниях | Постоянно | Отделы входного контроля (ОВК) производств |
| | b ₁₂ | *Степень выполнения принятых обязательств по PPM при 0-км пробеге | Постоянно | Подразделения по качеству, ОВК производств |
| | b ₁₃ | *Уровень отказов в гарантийный период эксплуатации | Постоянно | Подразделения по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей |
| | b ₁₄ | *Повтор претензий в состоянии поставки и оперативность реакции на выявленные несоответствия | Постоянно | ОВК производств |
| | b ₁₅ | *Выявление критических дефектов в состоянии поставки, переработки и эксплуатации | 1 раз в месяц | Подразделения по качеству |
| В ₂ | b ₂₁ | *Дисциплина организации поставок (выполнение объёма поставок, выполнение графика поставок) | 1 раз в месяц | Подразделения по организации закупок |
| | b ₂₂ | Экономический критерий | 1 раз в месяц | Подразделения по организации закупок |
| | b ₂₃ | *Остановка конвейера и некомплектная сборка по вине поставщика | 1 раз в месяц | Подразделения по организации закупок |
| | b ₂₄ | *Возмещение средств за брак в состоянии поставки, переработки и эксплуатации | 1 раз в месяц | Подразделения по организации закупок |
| | b ₂₅ | Наличие консигнационного склада | При заключении контракта | Подразделения по организации закупок |
| В ₃ | b ₃₁ | *Полнота включения в контракт требований по качеству и выполнение требований контракта | 1 раз в квартал | Подразделения по качеству |
| | b ₃₂ | *Информационное взаимодействие через технологический портал | 1 раз в квартал | Подразделение по развитию информационных систем |
| | b ₃₃ | *Выполнение анализа и устранение причин дефектов, эффективность принятых мер | 1 раз в квартал | Подразделения по качеству |
| | b ₃₄ | *Оперативность реакции поставщика на письма, запросы, вызовы, требования | 1 раз в месяц | Подразделения по качеству |
| | b ₃₅ | Оценка результатов периодических испытаний и доступности информации об испытаниях по ТУ и принимаемых мерах у поставщика | 1 раз в месяц и по запросу | Подразделения по развитию, подразделения по качеству |
| В ₄ | b ₄₁ | Использование одобренной системы качества | 1 раз в квартал | Подразделения по качеству |
| | b ₄₂ | Выполнение требований сертифицированной системы качества, технологического процесса и реакция на несоответствия, выявленные в ходе аудитов | 1 раз в квартал | Подразделения по организации закупок |
| | b ₄₃ | Внедрение процедур статистического управления процессами SPC | 1 раз в год и по запросу | Подразделения по качеству |
| | b ₄₄ | Способность быть эффективным партнёром в разработке продукции и технологии | 1 раз в год и по запросу | Подразделения по развитию, подразделения по качеству |
| | b ₄₅ | Уровень подготовки и обучения персонала | 1 раз в год и по запросу | Подразделения по качеству |
| Примечание: * — автоматизированный сбор данных | | | | |

ния получают менее 10 "штрафных" баллов; те же, кто сработали хуже, получают более 10 баллов.

Ежемесячные показатели склонны к колебаниям, и следовало бы выработать к ним отношение и настроить разрабатываемую систему

оценки на реагирование к колебаниям. И вот именно здесь возникает идея самонастраивающейся (живой) целевой функции качества. Идеология настройки заключается в реализации принципа постоянного улучшения, как аналогии спортивных

достижений, о чём было сказано выше. Дело в том, что если нынешний победитель не будет совершенствоваться, а останется со старыми результатами, то он начнёт нести ущерб в виде отрицательных баллов в дальнейшем, в том случае если его соперники "побегут" быстрее. То есть в алгоритме, реализующем систему оценки качества, необходимо предусмотреть функцию пересчёта средних значений по результатам отчётного месяца, и по ним перенастраивать шкалы. В этом случае можно постоянно работать с актуальной оценкой качества с учётом совокупных достигнутых результатов. Согласитесь, такой подход выбивает аргументы у лентяев, не желающих совершенствоваться, так как их аргументы как всегда просты. Они говорят — вы завышаете требования. Самонастраивающаяся (живая) целевая функция позволяет дать аргументированный ответ таким оппонентам: шкалу настроили вы сами, своими результатами. Теперь остаётся учесть последнее обстоятельство. Шкала имеет только одно направление движения — всё ближе и ближе к нулю перемещается точка среднего значения. То есть если все сработали лучше, то точку перемещают по совокупным результатам ближе к нулю. Если сработали хуже, то её не перемещают (договорной матч не проходит). В результате реализуется принцип постоянного совершенствования, и шкала перестраивается самими оцениваемыми участниками процесса. На рис. 4 данный процесс показан в статическом режиме, а на цветном рис. 5 (на стр. 3 обложки) — в динамике.

Естественно, что предлагаемая концепция самонастраивающейся (живой) целевой функции качества не исчерпывает себя рамками системы оценки качества деятельности поставщиков автосборочного предприятия. Она органично вписывается практически в любую систему измерения и может использоваться при оценивании качества производства, системы продаж, сервисных услуг, а также может быть интегрирована в инструменты рейтинговых оценок эффективности.

Работа подготовлена при поддержке гранта Президента РФ НШ-2515.20208.

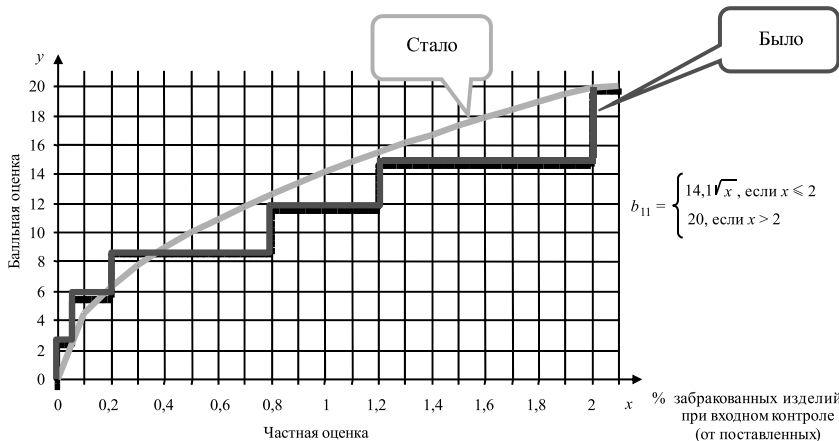


Рис. 2. Правила обработки данных, переход от линейно-дискретной к нелинейной модели перевода частных оценок в баллы

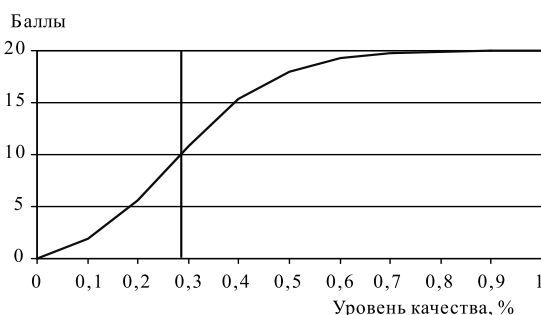


Рис. 3. Правила обработки данных, настройка нелинейной модели перевода частных оценок в баллы

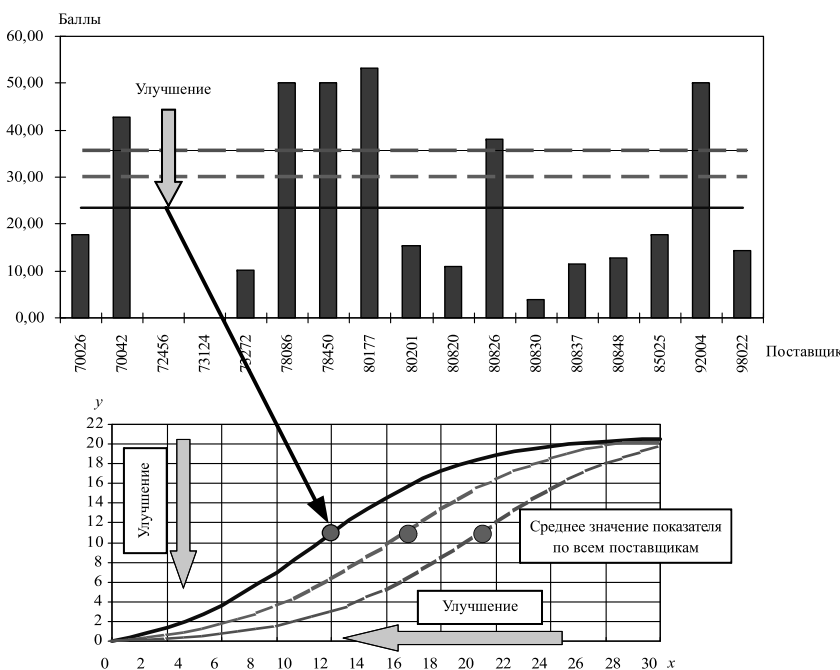
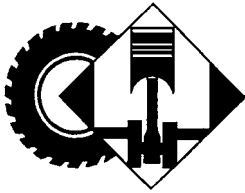


Рис. 4. Концепция самонастраивающейся целевой функции качества в статике



УДК 621.313

СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ И ПУСК ДВИГАТЕЛЯ ГИБРИДНОГО ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **АНТИПЕНКО В.С.**,
канд. техн. наук **ЛЕБЕДЕВ С.А.**
РУТ (МИИТ), РВВДКУ имени В.Ф. Маргелова
(antipenkovs7@mail.ru)

Сокращение времени пуска двигателей внутреннего сгорания, особенно при низких температурах и при разряженных аккумуляторных батареях, применением суперконденсаторов влечёт уменьшение выброса в атмосферу, улучшение качества жизни в крупных мегаполисах.

Ключевые слова: время пуска, аккумуляторная батарея, суперконденсатор, пусковой ток, гибридный двигатель.

Antipenko V.S., Lebedev S.A. SUPERCAPACITORS AND START OF A HYBRID CAR ENGINE

Reducing the start time of internal combustion engines, especially at low temperatures and when batteries are low, the use of supercapacitors leads to a reduction in emissions into the atmosphere, improving the quality of life in large Metropolitan areas.

Keywords: start-up time, battery, supercapacitor, starting current, hybrid engine.

Проведённые в последнее время экспериментальные исследования комбинированных источников тока (КИТ) для системы электростартерного пуска на примере двигателя ЗМЗ-4062.10 со стартером 42.3708 показали, что применение суперконденсатора позволяет использовать аккумуляторные батареи со значительной степенью разряженности [1] даже при низких температурах воздуха. Зависимости пусковых токов и частоты вращения от времени проворачивания коленчатого вала для данного двигателя представлены на рисунке (расчётные зависимости на рисунках показаны пунктирными линиями).

При электроснабжении стартера только от аккумуляторной батареи 6СТ-75А, разряженной на 50 %, при температуре 25 °С в течение десяти секунд коленчатый вал двигателя вращался с частотой $n = 115...125 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 1). На протяжении всего времени проворачивания коленчатого вала сила тока якоря стартера и сила тока разряда батареи находились в пределах 143...147 А. За десять секунд разряда напряжение U_{AB} снизилось с 12,22 до 10,48 В.

На следующем этапе экспериментальных исследований параллельно аккумуляторной батарее был подключен суперконденсатор — накопитель энергии (НЭ) ёмкостью 40 Ф. Заряд суперконденсатора производился от той же аккумуляторной батареи, разряженной на 50 %. Результаты проворачивания коленчатого вала

двигателя от КИТ показали, что начальная частота вращения повысилась до 145 мин^{-1} (рис. 2). К концу десятой секунды разряд суперконденсатора прекратился, и частота вращения коленчатого вала снизилась до 125 мин^{-1} . Средняя сила тока якоря I_a оставалась на уровне 147...154 А, при этом в начальный момент ($\tau = 0,1 \text{ с}$) вращения коленчатого вала сила тока якоря I_a составила 610 А, из которых на долю суперконденсатора приходилась сила тока $I_{НЭ}$ порядка 365 А. К концу десятой секунды сила тока суперконденсатора снизилась до нуля, а сила тока аккумуляторной батареи I_{AB} возросла до значения тока якоря I_a . Напряжение U_{AB} на десятой секунде разряда снизилось с начального 12,43 В до значения 10,76 В, а напряжение $U_{НЭ}$ составило 10,50 В.

Ещё больший эффект был получен при подключении к аккумуляторной батарее более мощного нако-

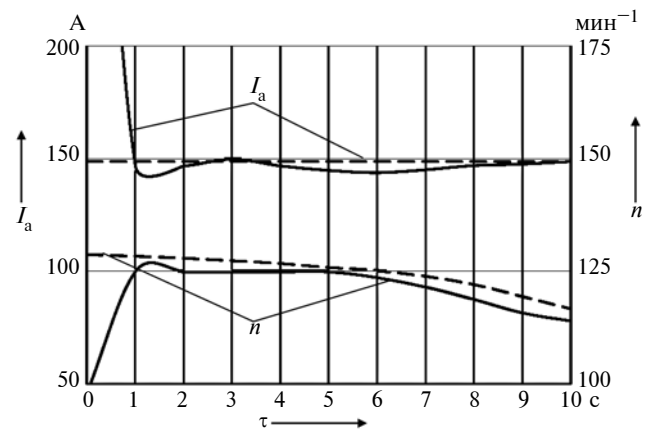


Рис. 1. Средние частота проворачивания коленчатого вала и сила тока якоря стартера при использовании аккумуляторной батареи, разряженной на 50 %

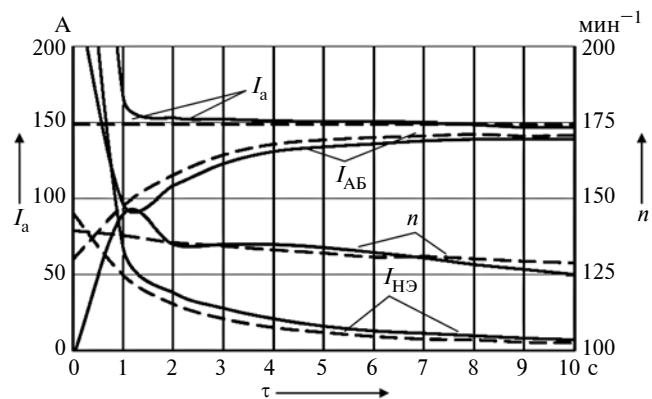


Рис. 2. Изменение средних частоты проворачивания коленчатого вала двигателя и силы тока якоря стартера при питании его от аккумуляторной батареи 6СТ-75А (разряженной на 50 %) и накопителя МНЭ-40/14 (12 В)

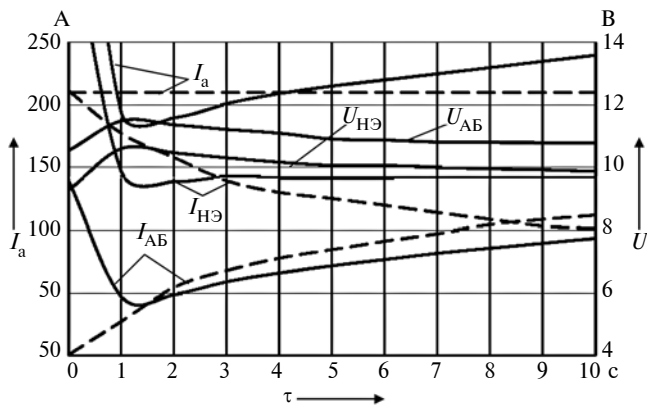


Рис. 3. Изменение средней величины напряжения и силы тока якоря стартера при его питании от той же аккумуляторной батареи и накопителя МНЭ-660/12 (12 В)

питателя энергии ёмкостью 660 Ф (рис. 3). На представленных графиках интерес представляет изменение силы тока и напряжения батареи и накопителя. Средняя сила тока якоря I_a повысилась до уровня 190...240 А, при этом в начальный момент ($\tau = 0,1$ с) вращения коленчатого вала двигателя сила тока якоря I_a составила 489 А, из которых на долю НЭ приходилась сила тока $I_{НЭ}$ порядка 350 А. В течение десяти секунд $I_{НЭ}$ находилась на уровне 142...146 А, а $I_{АБ}$ — на уровне 47...94 А. Таким образом, на долю НЭ пришлось около 2/3 токовой нагрузки. Напряжение $U_{АБ}$ на десятой секунде разряда составило 10,79 В (при начальном 12,6 В), а напряжение $U_{НЭ} = 9,79$ В. Частота вращения коленчатого вала ДВС — в среднем 125 мин^{-1} .

В предыдущих опытах накопителя энергии заряжались от аккумуляторной батареи, входящей в состав КИТ и заряженной на 50 %. С увеличением начального напряжения накопителя $U_{НЭ}$ до 14 В (номинального напряжения генераторной установки) его роль в составе КИТ при проворачивании коленчатого вала возросла ещё больше (рис. 4). Значение силы тока $I_{НЭ}$ практически на протяжении всей попытки было близко к силе тока якоря стартера I_a . В начальный момент ($\tau = 0,1$ с) вращения коленчатого вала двигателя сила тока I_a составила 477 А, из которых на долю НЭ приходилось порядка 397 А. Средняя сила тока якоря I_a была на уровне 150...196 А, при этом сила тока батареи $I_{АБ}$ на протяжении всей попытки не превысила 60 А. Это указывает на то, что в данном случае стартерную нагрузку на себя полностью взял накопитель, разгрузив от стартерных токов аккумуляторную батарею. При начальном значении 12,17 В напряжение $U_{АБ}$ на десятой секунде снизилось всего на 1 В (до 11,16 В), а значение напряжения $U_{НЭ}$ составило 10,24 В. Частота вращения коленчатого вала двигателя осталась на уровне 125 мин^{-1} .

Анализ распределения величин токов между аккумуляторной батареей и накопителем энергии показывает, что на первых 2...4 секундах проворачивания коленчатого вала двигателя накопители позволяют существенно снизить ток, протекающий от батареи, что уменьшает нагрузку на аккумуляторы и удлиняет срок

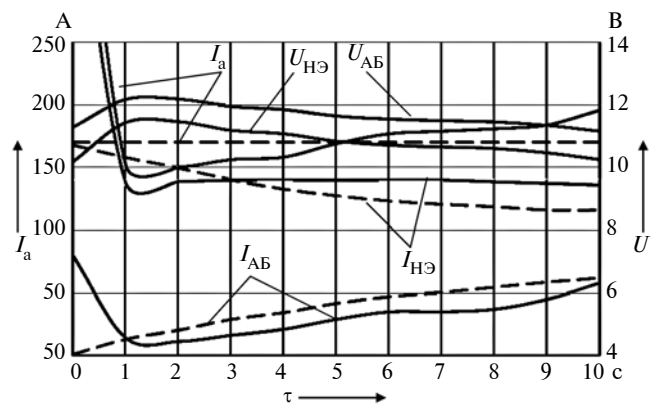


Рис. 4. Изменение средней величины напряжения и силы тока якоря стартера при его питании от того же КИТ при начальном напряжении накопителя 14 В

их службы. Также из экспериментальных данных следует, что меньшие значения силы тока от батареи при подключенном НЭ вызывают меньшие падения напряжения на ней. Это увеличивает надёжность работы системы зажигания (допустимая величина напряжения бесперебойного искрообразования которой должна быть не менее 6 В).

Таким образом, параллельное подключение суперконденсатора-накопителя и аккумуляторной батареи позволяет: разгрузить батарею в начальный момент времени, что даёт возможность использовать батарею меньшей ёмкости; увеличить частоту проворачивания коленчатого вала двигателя, особенно в начальный период пуска; уменьшить вредные выбросы при пуске двигателя; осуществить проворачивание коленчатого вала двигателя в случае сильно разряженной аккумуляторной батареи; повысить напряжение в системе зажигания при сильно разряженной батарее.

Разработка оптимизированного типоразмерного ряда КИТ с накопителями энергии остаётся важной проблемой [2—6], решение которой даст возможность значительно повысить технико-экономические показатели комбинированных источников тока и ускорить процесс их внедрения на различных образцах автомобильной техники.

Литература

1. Кочуров А.А. Исследование процесса протекания токообразующей электрохимической реакции в свинцово-кислотном аккумуляторе с целью улучшения характеристик его работы / А.А. Кочуров, С.А. Лебедев, В.С. Абанин [и др.]. — Рязань: РВВДКУ, 2015. — 194 с.
2. Антипенко В.С. Комбинированный источник тока в составе систем электростартерного пуска / Антипенко В.С., Лебедев С.А. — Грузовик. 2009. № 10. С. 14—26.
3. Антипенко В.С. Модульный источник тока для ВАТ / Антипенко В.С., Лебедев С.А. — Автомобильная промышленность. 2009. № 1. С. 19—22.
4. Антипенко В.С. Альтернативные источники тока для систем электростартерного пуска / Антипенко В.С., Лебедев С.А. — Автомобильная промышленность. 2009. № 11. С. 9—11.
5. Антипенко В.С. Тестирование систем электростартерного пуска / Антипенко В.С., Лебедев С.А., Антипенко С.В. — Грузовик. 2011. № 1. С. 22—26.
6. Лебедев С.А. Комбинированные источники тока для военной техники / С.А. Лебедев. — Рязань: РВВДКУ, 2012. — 235 с.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО РАЗВАЛА КОЛЁС

Д-р техн. наук **БАЛАБИН И.В.**,
канд. техн. наук **ЧАБУНИН И.С.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана, МВОКУ
(tchabunin@rambler.ru)

Статья посвящена проблеме повышения устойчивости мобильной машины путём создания существенно большего отрицательного развала её колёс, позволяющего искусственно увеличить колею и так называемый угол опрокидывания.

Ключевые слова: мобильная машина, устойчивость, отрицательный развал колёс.

Balabin I.V., Chabunin I.S. ON THE ISSUE OF INCREASING THE STABILITY OF A MOBILE MACHINE BY USING NEGATIVE CAMBER OF WHEELS

The article is devoted to the problem of increasing the stability of a mobile machine by creating a significantly large negative camber of its wheels, which allows artificially increasing the track and the so-called rollover angle.

Keywords: mobile machine, stability, negative camber of wheels.

Устойчивость гоночных болидов против опрокидывания, как известно, обеспечивается, главным образом, за счёт предельно низкого расположения центра масс. Для автомобилей же транспортного назначения по известным причинам это неприемлемо: приходится искать альтернативные меры, которые бы не входили в противоречие с функциональными качествами и практической полезностью АТС. Одним из таких путей является увеличение колеи мобильной машины (разумеется, в пределах стандартного коридора) в совокупности с приданием наклонного положения колёсам. То есть применение так называемого отрицательного развала, составляющего 10 и более градусов.

Такое решение уже используется, например, фирмой "Даймлер-Бенц" (рис. 1). Интерес представляет механизм качения колёс такого автомобиля, оборудованного колёсами с развалом, превышающим 10°. В процессе анализа необходимо выяснить, насколько эффективным является это мероприятие с точки зрения устойчивости движения, особенно по криволинейной траектории, а также влияние наклонного положения колёс на тяговую динамику и сопротивление качению в сравнении с процессом качения при отсутствии развала. Для того, чтобы ответить на вопрос относительно влияния отрицательного развала на устойчивость мобильной машины против опрокидывания, рассмотрим эту проблему с силовой точки зрения.

На рис. 2 представлена упрощённая расчётная схема автомобиля при его движении с боковым возмущением, возникающим как следствие центробежной силы, не учитывающая жёсткости подвески и шин. Активными силами являются сила тяжести G и центробежная сила $F_{цб}$, которые приложены в центре масс. В ре-

зультате их действия на левых и правых колёсах возникают реактивные нормальные $F_{zл}$ и $F_{zп}$ и боковые $F_{yл}$ и $F_{yп}$ силы. Обозначим через B и h_C соответственно ширину колеи и высоту центра масс автомобиля с нулевых развалом. С увеличением отрицательного развала, который определяется углом α наклона колёс к вертикальной плоскости, ширина колеи увеличивается на $\Delta B = 2r \sin \alpha$, а высота центра масс снижается на $\Delta h_C = r - r \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha)$, где r — динамический радиус колеса при нулевом развале. Значения реактивных сил можно определить из уравнений равновесия представленной на рисунке системы.

Процесс поперечного опрокидывания может начаться в тот момент, когда сила $F_{zл}$ или $F_{zп}$ (в зависимости от направления центробежной силы) станет равна нулю. Составим сумму моментов относительно точки контакта левого колеса (поскольку на рис. 2 центробежная сила направлена влево):

$$F_{zп}(B + \Delta B) - G \frac{B + \Delta B}{2} + F_{цб}(h_C - \Delta h_C) = 0.$$

Тогда

$$F_{zп} = \frac{G \frac{B + \Delta B}{2} - F_{цб}(h_C - \Delta h_C)}{B + \Delta B} = 0 \text{ и } F_{цб} = \frac{G \frac{B + \Delta B}{2}}{h_C - \Delta h_C}.$$

Между тем $F_{цб} = m \frac{v^2}{R}$, где v — скорость движения автомобиля; R — радиус поворота; $G = mg$, где m —



Рис. 1. Автомобиль "Мерседес" с отрицательным развалом колёс

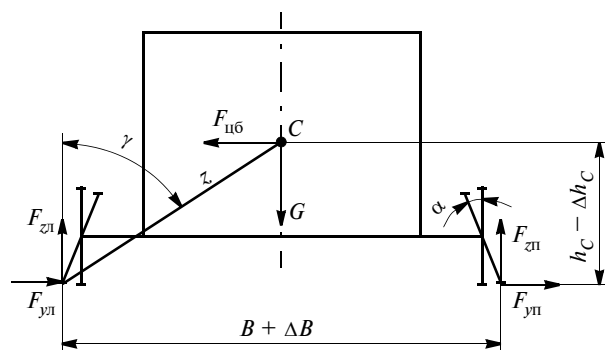


Рис. 2. Расчётная схема

масса автомобиля; g — ускорение свободного падения. Тогда величина центростремительного ускорения

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{g \frac{B + \Delta B}{2}}{h_C - \Delta h_C} = \frac{g \left(\frac{B}{2} + r \sin \alpha \right)}{h_C - r(1 - \cos \alpha)}$$

Из этого соотношения видно, что главным фактором, определяющим склонность объекта к опрокидыванию, выступают высота центра масс h_C и ширина колеи B , точнее отношение ширины колеи к высоте центра масс.

Для автомобилей общего назначения высота центра масс, как уже говорилось, не может быть существенно снижена. Что же касается ширины колеи, то это в принципе возможно, однако неизбежно связано с увеличением габаритных размеров кузова, шасси и массы автомобиля, и с этой точки зрения также не вполне приемлемо. Но увеличить ширину колеи, не затрагивая других параметров, позволяет установка колёс с отрицательным развалом.

На рис. 3, а представлен график зависимости центростремительного ускорения $a_n = v^2/R$ от величины отрицательного развала колёс, определяемого углом α , для легкового автомобиля с $r = 0,32$ м, $h_C = 0,6$ м, $B = 1,4$ м. На рис. 3, б — аналогичная зависимость для грузового автомобиля с $r = 0,32$ м, $h_C = 0,6$ м, $B = 1,9$ м. Как видно из графиков, с увеличением угла наклона α от 0 до 15° значение a_n , при котором может начаться отрыв от опорной поверхности одного из колёс, для легкового автомобиля выросло на 13,9 %, для грузового автомобиля — на 16,8 %. Таким образом, как показывает элементарный расчёт, отрицательный развал колёс даёт возможность увеличить ширину колеи, что, в свою очередь, повышает устойчивость и, несомненно, является существенным улучшением.

Кроме того, наклон плоскостей колёс с обратной стороны действия центробежной силы (см. рис. 2) даёт прибавку в угле устойчивости мобильной машины γ ,

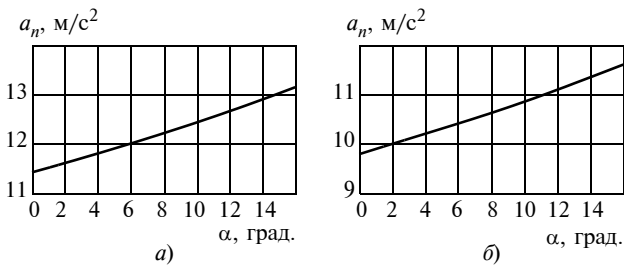


Рис. 3. Зависимость критического по отрыву колёс центростремительного ускорения от угла их развала

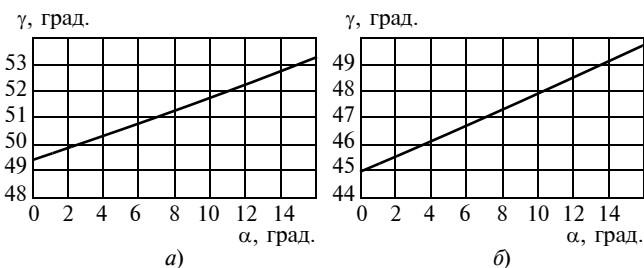


Рис. 4. Зависимость угла устойчивости от угла развала колёс

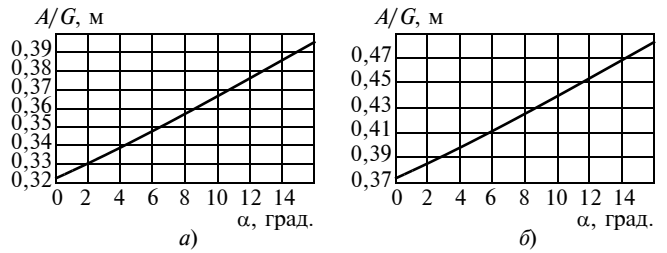


Рис. 5. Зависимость удельной работы по опрокидыванию от угла развала колёс

поскольку автомобиль не может перевернуться до тех пор, пока центр масс и точка контакта колеса с дорожной поверхностью не окажутся на одной вертикальной прямой, что дополнительно оказывает положительное влияние на поперечную устойчивость машины.

Значение угла γ можно определить по выражению

$$\gamma = 90^\circ - \arctg \frac{h_C - \Delta h_C}{(B + \Delta B)/2}$$

Иллюстрирует влияние величины отрицательного развала на угол γ рис. 4: чем больше угол γ , тем больше во времени растянут процесс поперечного опрокидывания и тем больше возможность избежать аварийного окончания этого процесса, снизив скорость движения v или увеличив радиус поворота R . С увеличением угла α от 0 до 15° угол γ увеличивается на 7,3 % (рис. 4, а); для грузового автомобиля — соответственно на 9,8 % (рис. 4, б).

Третьим аспектом, позволяющим качественно оценить влияние отрицательного угла развала на поперечную устойчивость, является работа, которую необходимо совершить для опрокидывания автомобиля. Она определяется не только его силой тяжести, но и высотой подъёма центра масс, которой (см. рис. 2) равна:

$$\Delta z = z - (h_C - \Delta h_C),$$

$$\text{где } z = \sqrt{(h_C - \Delta h_C)^2 + \left(\frac{B + \Delta B}{2} \right)^2}.$$

Для легкового автомобиля с увеличением угла α от 0 до 15° эта работа выросла на 21,3 % (рис. 5, а); для грузового автомобиля — на 27,4 % (рис. 5, б).

Таким образом, по всем трём аспектам — силовым, кинематическим, энергетическим — отрицательный угол развала колёс ощутимо положительно влияет на устойчивость машины против опрокидывания. Но, прежде чем использовать отрицательный развал, следует ответить на вопрос, каким образом это мероприятие отразится на сопротивлении качению. Вопрос этот исследован в статье "Углы установки управляемых колёс и их количественное влияние на сопротивление движению автомобиля" (см. АП, 2016, № 9, с. 21—24). В ней приведены убедительные доказательства незначительного влияния развала колёс на сопротивление качению. Отмечено лишь некоторое смещение равнодействующей давления шины на опорное основание от центра к периферии протектора, что влияет на равномерность износа последнего, но исправимо при соответствующих изменениях в конструкциях шины и колеса.

ТЕОРИЯ СЛУЖЕБНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Канд. техн. наук **ВОЛКОВ Е.В.**

Тихоокеанский ГУ (4212.37-51-99)

Рассматриваются тормозные свойства автомобиля рабочей (основной) тормозной системой в случаях, когда оценочные параметры не достигают предельных значений — в режиме служебного торможения.

Ключевые слова: тормозная система, тормозной механизм, тормозной привод, тормозные свойства, время торможения, замедление, тормозной путь.

Volkov E.V.

THE THEORY OF THE SERVICE BRAKING

The article considers the braking properties of the car working (main) brake system in cases when the estimated parameters do not reach the limit values — in the service braking mode.

Keywords: brake system, brake mechanism, brake drive, braking properties, braking time, deceleration, braking distance.

Торможение — один из динамических, являющихся функцией времени, циклов движения автомобиля. В его процессе создаётся и изменяется искусственное сопротивление движению АТС с целью уменьшения его скорости либо удержания неподвижным на дороге. Тормозные свойства автомобиля зависят от назначения тормозной системы, типа тормозных механизмов и привода, а также их технического состояния. У современных автомобилей тормозными механизмами рабочей тормозной системы являются колёсные тормоза с гидро-, пневмо- или комбинированным приводом [1, 2]. К тормозному управлению предъявляются жёсткие требования, которые регламентируются нормативными документами [3].

Служебным считается торможение с целью уменьшения скорости движения до желаемой величины (частичное) или до остановки автомобиля (полное). При частичном торможении скорость АТС снижается плавно, а замедление не превышает 2,5...3,0 м/с². Полная остановка автомобиля может быть достигнута помимо плавного торможением экстренным (аварийным), которое отличается от служебного существенно большими значениями замедления (рассматривается отдельно).

Служебное торможение может производиться следующими способами.

1. Торможение двигателем без приведения в действие тормозных механизмов различных тормозных систем. В этом случае водитель уменьшает или полностью прекращает подачу топлива (горючей смеси) в цилиндры двигателя, в результате чего мощность, развиваемая двигателем, оказывается недостаточной для преодоления как внешних сопротивлений, так и сил сопротивления в двигателе и агрегатах трансмиссии. Двигатель превращается в тормоз за счёт действия газовых, инерционных и сил трения. Такой вид торможения применяется в том случае, когда замедление должно быть небольшим.

2. Торможение с отсоединённым двигателем — применяется в случаях, когда торможение двигателем

уже не обеспечивает желаемого замедления, а также при необходимости полной остановки транспортного средства. При таком способе отключают двигатель (выжимая сцепление или устанавливая нейтральную передачу в коробке передач) и плавно нажимают на тормозную педаль.

3. Торможение с неотсоединённым двигателем (комбинированное) — в ряде случаев наиболее выгодное с точки зрения долговечности тормозных механизмов и уменьшения тепловой напряжённости тормозных механизмов. Кроме того, на дорогах с малым коэффициентом сцепления такой способ торможения уменьшает возможность возникновения заноса автомобиля. При комбинированном торможении суммарная тормозная сила создаётся в результате действия тормозных механизмов и тормозного момента двигателя, а также трением в агрегатах трансмиссии.

При этом также существуют и действуют на высоких начальных скоростях торможения и силы сопротивления воздуха и дороги. При торможении элементарные силы трения, распределённые по поверхности фрикционных накладок, создают результирующий момент трения $M_{\text{тор}}$, направленный в сторону, противоположную вращению колеса, а между колесом и дорогой возникает тормозная сила $P_{\text{тор}}$, максимальное значение которой определяется моментом сцепления $M_{\text{сц}}$ шины с дорогой, стремящимся поддержать вращение колеса. При служебном (частичном) торможении соблюдается неравенство $M_{\text{тор}} \leq M_{\text{сц}}$, поэтому колесо вращается, а энергия рассеивается в тормозном механизме и частично — в пятне контакта шины с дорогой. Поскольку двигатель и трансмиссия в третьем случае выполняют роль дополнительных тормозов, то при их использовании безвозвратно теряется часть накопленной к моменту начала торможения кинетической энергии автомобиля, переходящей в тепловую. Она частично компенсируется за счёт энергии вращающихся деталей двигателя и трансмиссии при замедлении их вращения.

Свыше 95 % всех случаев торможения относятся к служебному, поэтому рациональное использование различных способов торможения в значительной степени определяет долговечность и надёжность рабочей тормозной системы, а следовательно, и безопасность движения.

Для определения параметров торможения к материальному телу (автомобилю), движущемуся в материальном пространстве, применён принцип освобождённости от связей, который позволил установить происхождение силы инерции — принцип Даламбера. Для нахождения параметров движения автомобиля в динамическом режиме использован принцип Лагранжа, согласно которого силу инерции можно выразить через кинетическую энергию (работу).

Согласно динамической модели системы тормоза—трансмиссия—двигатель, изображённой на рис. 1, используя принцип Даламбера—Лагранжа, можно записать уравнение равновесия [4] в виде формулы 1 (в таблице), в которой ΣN — суммарная мощность системы тормоза—трансмиссия—двигатель, кВт; $N_{\text{кол}}$ — мощность, реализуемая в тормозных механизмах ко-

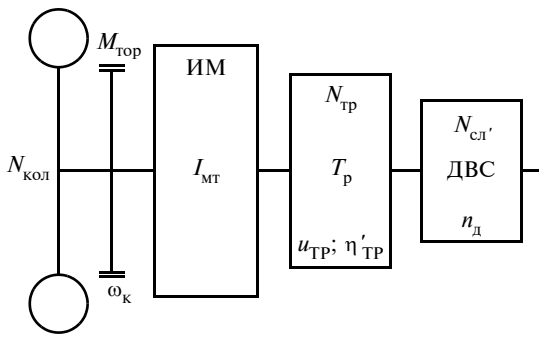


Рис. 1. Динамическая модель автомобиля при служебном торможении

лёт, кВт; $N_{сд}$ — мощность сопротивления прокручиванию коленчатого вала двигателя, кВт; $N_{тр}$ — мощность потерь в трансмиссии, кВт; E_a — кинетическая энергия, накопленная автомобилем к моменту начала торможения, кДж.

Мощность, реализуемая в тормозных механизмах колёс, определяется зависимостью 2.

Тормозной момент пропорционален давлению рабочего тела в тормозном механизме и может быть рассчитан по формуле 3. Здесь: P_0 — давление рабочего тела (тормозной жидкости или воздуха) в трубопроводах тормозной системы, МПа; λ — коэффициент пропорциональности, учитывающий количество всех тормозных механизмов (тормозящих колёс). Последний зависит от многих факторов и может изменяться в широких пределах, но для конкретного автомобиля его условно можно считать постоянным.

Мощность сопротивления двигателя определяется зависимостью 4, где $M_{сд}$ — момент сопротивления двигателя при торможении, Н·м; $\eta'_{тр}$ — "обратный" КПД трансмиссии, характеризующий потери мощности в трансмиссии при передаче тормозного момента от ведущих (тормозящих) колёс к двигателю. При торможении автомобиля с неотсоединённым двигателем "обратный" КПД трансмиссии определяется выражением 5. Он на 5...10 % меньше "прямого", что несколько улучшает тормозные свойства автомобиля.

Момент сопротивления двигателя $M_{сд}$ — комплексный параметр, составляющими которого являются моменты сил трения, инерционных и газовых сил. Его можно определить по тормозным характеристикам двигателя, получаемым экспериментально, либо рассчитать по одной из эмпирических зависимостей, например, по формуле 6.

Суммарную мощность потерь в двигателе и трансмиссии можно представить зависимостью 7.

Кинетическая энергия E_a системы тормоза—трансмиссия—двигатель определяется выражением 8, где $I_{ит}$ — приведённый момент инерции вращающихся деталей автомобиля и двигателя при торможении, кг·м².

Согласно динамической модели автомобиля при торможении приведённый момент инерции считается сосредоточенным на тормозящих колёсах и определяется формулой 9. Момент инерции двигателя и связанных с ним вращающихся деталей трансмиссии и момент инерции колёс ΣI_k при торможении не превышают 4...6 % от приведённого момента инерции ав-

томобиля $I_{ит}$, поэтому его можно представить зависимостью 10.

Коэффициент $\delta_{врт}$ при торможении аналогичен коэффициенту $\delta_{вр}$ при тяговом режиме и при анализе параметров тормозной динамики с неотсоединённым двигателем может быть определён по формуле 11. При ориентировочных расчётах значения этих коэффициентов можно принимать $\sigma_{1т} = \sigma_{2т} = 0,04...0,06$.

Производная dE_a/dt вычисляется по формуле 12.

Если при прямолинейном движении скорости всех точек автомобиля, в том числе и центра колеса, равны, то и замедления также будут равны, следовательно, уравнение 1 примет вид 13. Здесь $N_{ит} = m_a V_a j_3 \delta_{врт}$ — мощность инерции автомобиля, равная мощности $N_{тор}$ тормозных механизмов с учётом мощности сопротивления двигателя и потерь в трансмиссии.

Разделив составляющие уравнения 13 на угловую частоту вращения колёс, получают уравнение 14. Пользуясь этим уравнением, находят тормозные и инерционные силы (формулы 15). Здесь $P_{ит} = m_a j_3 r_k / r_d \delta_{врт}$ — инерционная, т.е. движущая сила при торможении, приложенная в центре масс автомобиля, Н; $P_{кол} = \lambda P_0 / r_d$ — тормозная сила, действующая в пятне контакта колеса с дорогой, Н; $P_{сд} = a_{дп} V_d / (\eta'_{тр} r_d)$ — дополнительная тормозная сила от момента сопротивления двигателя, Н; $P_{тор}$ — суммарная тормозная сила, создаваемая тормозными механизмами колёс переднего ($P_{тор1}$) и заднего ($P_{тор2}$) мостов (тележки) автомобиля, Н. При общем анализе параметров тормозной динамики автомобиля отношение r_k / r_d принимают равным единице.

Суммарную тормозную реакцию $R_{хт}$ можно определить по формуле 16.

Тормозная сила $P_{тор}$ является одной из составляющих реакции $R_{хт}$ и она гораздо больше силы сопротивления качению P_f , поэтому при интенсивном торможении можно принимать $R_{хт1} = P_{тор1}$ и $R_{хт2} = P_{тор2}$. Но это допущение справедливо только при торможении на хорошей горизонтальной дороге с твёрдым покрытием, а на дорогах низших категорий необходимо учитывать силу сопротивления дороги, которая может быть соизмерима с тормозной.

Измерителями тормозной динамики автомобиля при служебном торможении являются: замедление j_3 (м/с²) и тормозной путь $S_{тор}$ (м), а время торможения не имеет существенного значения, так как торможение является частичным, совмещающим режимы торможения и наката. Для их определения спроектируем все силы (рис. 2), действующие на автомобиль при служебном торможении, на ось X ($\Sigma P_x = 0$), получив зависимость 17. Она представляет собой уравнение динамического равновесия Даламбера, адекватное уравнению статики, в котором все силы переменны, и по сути реализует третий закон Ньютона.

Из тяговой динамики автомобиля известно, что сумма сил $P_f + P_{п} = P_{д}$, тогда основное уравнение служебного торможения автомобиля будет иметь вид 18. Используя это уравнение, можно найти замедление автомобиля при комбинированном служебном торможении (формула 19).

Скорость автомобиля в процессе торможения может быть получена интегрированием по времени замедления автомобиля, а тормозной путь — интегрированием скорости (формула 20).

В течение некоторого времени t после начала торможения автомобиль движется с заданным замедлением j_3 , а при достижении требуемой скорости водитель

отпускает тормозную педаль. Происходит оттормаживание — уменьшение замедления и автомобиль движется накатом. Время оттормаживания (t_0) при гидравлическом приводе составляет примерно 0,2 с, а при пневматическом — 0,5...1,5 с. Если торможение производится до полной остановки, то при этом замедление уменьшается до нуля практически мгновенно.

| № | Формула | Примечания |
|----|--|--|
| 1 | $\Sigma N = N_{\text{кол}} - N_{\text{сд}} - N_{\text{тр}} = dE_a/dt$ | ΣN — суммарная мощность системы тормоза—трансмиссия—двигатель, кВт |
| 2 | $N_{\text{кол}} = M_{\text{кол}}\omega_k$ | $M_{\text{кол}}$ — момент, создаваемый тормозными механизмами, Н·м; ω_k — угловая частота вращения колеса, с ⁻¹ |
| 3 | $M_{\text{кол}} = \lambda P_0$ | λ — коэффициент пропорциональности, учитывающий число всех тормозных механизмов; P_0 — давление рабочего тела в трубопроводах тормозной системы, МПа |
| 4 | $N'_{\text{сд}} = M_{\text{сд}}n_d/(9550\eta'_{\text{тр}})$ | $M_{\text{сд}}$ — момент сопротивления двигателя при торможении, Н·м; $\eta'_{\text{тр}}$ — "обратный" КПД трансмиссии |
| 5 | $\eta'_{\text{тр}} = \frac{N'_{\text{сд}}}{N'_{\text{сд}} + N_{\text{тр}}} = \frac{M_{\text{сд}}u_{\text{тр}}}{M_{\text{сд}}u_{\text{тр}} + M_{\text{тр}}}$ | — |
| 6 | $M_{\text{сд}} = \alpha_d p_M V_d$ | p_M — среднее давление механических потерь в двигателе, кПа; V_d — рабочий объём двигателя, л; α_d — коэффициент пропорциональности |
| 7 | $N_{\text{сд}} = N'_{\text{сд}} + N_{\text{тр}} = N'_{\text{сд}}/\eta'_{\text{тр}}$ | — |
| 8 | $E_a = 0,5m_a V_a^2 \delta_{\text{врт}} = 0,5m_a r_k^2 \omega_k^2 \delta_{\text{врт}} = 0,5I_{\text{мт}} \omega_k^2$ | — |
| 9 | $I_{\text{мт}} = m_a r_k^2 + I_d u_{\text{тр}}^2 / \eta'_{\text{тр}} + \Sigma I_k$ | — |
| 10 | $I_{\text{мт}} = m_a r_k^2 + \delta_{\text{врт}}$ | $\delta_{\text{врт}}$ — коэффициент учёта вращающихся масс при торможении |
| 11 | $\delta_{\text{врт}} = 1 + (I_d u_{\text{тр}}^2 / \eta'_{\text{тр}} + \Sigma I_k) / (m_a r_k^2) = 1 + (\sigma_{1т} u_{\text{кп}}^2 + \sigma_{2т}) \frac{m_a}{m}$ | $\sigma_{1т} = (I_d u_{\text{тр}}^2) / (m_a r_k^2 \eta'_{\text{тр}})$ и $\sigma_{2т} = \Sigma I_k / (m_a r_k^2)$ — эмпирические коэффициенты; m_a — масса полностью гружённого автомобиля, кг; m — масса автомобиля при торможении, кг |
| 12 | $dE_a/dt = m_a V_a \delta_{\text{врт}} dV_a/dt = m_a V_a j_3 \delta_{\text{врт}}$ | j_3 — замедление автомобиля при торможении, м/с ² |
| 13 | $m_a V_a j_3 \delta_{\text{врт}} = \lambda P_0 \omega_k + \alpha_d p_M V_d \omega_k / \eta'_{\text{тр}}$ или $N_{\text{ит}} = N_{\text{кол}} + N_{\text{сд}} = N_{\text{тор}}$ | $N_{\text{ит}} = m_a V_a j_3 \delta_{\text{врт}}$ — мощность инерции автомобиля, кВт |
| 14 | $m_a j_3 r_k \delta_{\text{врт}} = \lambda P_0 + \alpha_d p_M V_d / \eta'_{\text{тр}}$ или $M_{\text{ит}} = M_{\text{кол}} + M_{\text{сд}} = M_{\text{тор}}$ | $M_{\text{ит}}$ — момент инерции автомобиля при торможении, Н·м; $M_{\text{кол}}$ — тормозной момент колёс, Н·м; $M_{\text{тор}}$ — суммарный тормозной момент, реализуемый тормозными механизмами, Н·м |
| 15 | $m_a j_3 \frac{r_k}{r_d} \delta_{\text{врт}} = \lambda \frac{P_0}{r_d} + \alpha_d p_M V_d / (\eta'_{\text{тр}} r_d)$ или $P_{\text{ит}} = P_{\text{кол}} + P_{\text{сд}} = P_{\text{тор}}$ | — |
| 16 | $R_{\text{хт}} = R_{\text{хт1}} + R_{\text{хт2}} = P_{\text{тор1}} + P_{f1} + P_{\text{тор2}} + P_{f2} = P_{\text{тор}} + P_f =$ $= \lambda P_0 / r_d + \alpha_d p_M \frac{V_d}{\eta'_{\text{тр}} r_d} + m_a g f$ | — |
| 17 | $R_{\text{хт1}} + R_{\text{хт2}} + P_{\text{п}} + P_{\text{в}} = R_{\text{хт}} + P_{\text{п}} + P_{\text{в}} = P_{\text{ит}}$ или $\lambda P_0 / r_d + \alpha_d p_M \frac{V_d}{\eta'_{\text{тр}} r_d} + m_a g f + m_a g i + K_b F_a V_a^2 = m_a j_3 \frac{r_k}{r_d} \delta_{\text{врт}}$ | — |
| 18 | $m_a j_3 r_k / r_d \delta_{\text{врт}} = \lambda P_0 / r_d + \alpha_d p_M \frac{V_d}{\eta'_{\text{тр}} r_d} + m_a g \psi + K_b F_a V_a^2$ или $P_{\text{ит}} - P_{\text{кол}} - P_{\text{сд}} - P_{\text{д}} - P_{\text{в}} = P_{\text{ит}} - P_{\text{тор}} - P_{\text{д}} - P_{\text{в}} = 0$ | — |
| 19 | $j_3 = \left(\lambda P_0 / r_d + \alpha_d p_M \frac{V_d}{\eta'_{\text{тр}} r_d} + m_a g \psi + K_b F_a V_a^2 \right) r_d / (m_a r_k \delta_{\text{врт}})$ | — |
| 20 | $V_a = V_0 - \int_0^t j_3 dt; \quad S_{\text{тор}} = \int_0^t V_a dt$ | V_0 — начальная скорость торможения, м/с |

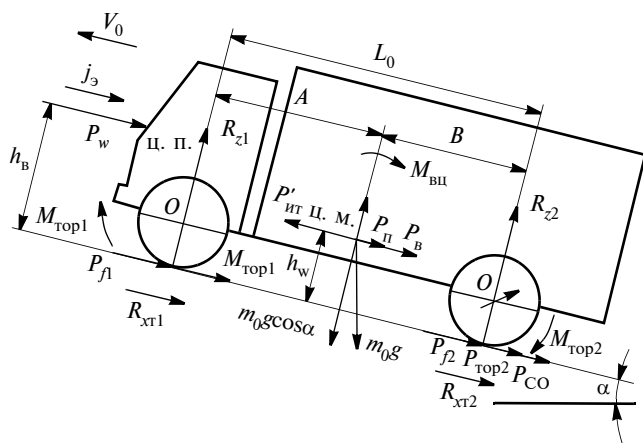


Рис. 2. Схема сил, действующих на автомобиль при служебном, комбинированном торможении

На дорогах с низким коэффициентом сцепления, на которых замедление не может быть большим, торможение целесообразно производить без отсоединения двигателя, что позволяет сохранить устойчивость АТС. Такой способ торможения также широко используется для поддержания постоянной скорости на спусках.

Служебное торможение на дорогах с высоким коэффициентом сцепления целесообразно проводить с неотсоединённым двигателем. Совместное торможение тормозными механизмами и двигателем на затяжных спусках позволяет не только увеличить долговечность фрикционных накладок тормозов, но и повысить безопасность движения. При использовании для торможения в этих условиях только тормозных механизмов рабочей системы, фрикционные элементы которой нагреваются до высокой температуры, в результате чего уменьшается коэффициент трения, а следовательно, и тормозной момент. Это приводит к тому, что в случае необходимости экстренного торможения после затяжного спуска тормозной путь существенно увеличивается. Таким образом, комбинированное торможение с неотсоединённым двигателем целесообразно в том случае, когда желаемое замедление не превосходит некоторой величины, различной на разных передачах, при разных скоростях движения и степени использования грузоподъёмности автотранспортного средства.

Торможение с периодическим прекращением действия тормозной системы обеспечивает наибольшую его интенсивность. При качении заторможенное нескользкое колесо воспринимает большую тормозную силу, чем при движении его юзом, так как коэффициент трения скольжения больше коэффициента трения качения, поэтому коэффициент сцепления в последнем случае резко уменьшается. Во время скольжения шины по дороге частицы материала протектора, находящиеся в контакте с дорогой, нагреваются и размягчаются. Если же водитель последовательно несколько раз нажимает на педаль тормоза и затем частично отпускает её, то с дорогой соприкасаются несколько новых, менее нагретых элементов шины, вследствие чего максимальная величина силы сцепления сохраняется, а эффективность действия тормозов увеличивается. В случае тормозной системы с АБС эти функции выполняет электронный блок управления.

Таким образом, безопасность движения на автомобильных дорогах общего пользования определяется: типом, конструкцией автотранспортного средства и его тормозного управления; степенью использования грузоподъёмности; состоянием покрытия автомобильной дороги; типом и конструкцией шин, используемых по назначению (зима/лето) и соблюдением правил их технической эксплуатации; способами и методами обучения вождению лиц, способных по начальному образованию и психико-физическим свойствам к обучению; неукоснительным соблюдением всеми участниками транспортного процесса правил дорожного движения, независимо от их статуса и занимаемой должности.

Литература

1. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для вузов / А.И. Гришкевич. — Минск: Высш. шк., 1986. — 208 с.
2. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности Автомобили и автомобильное хозяйство. — М.: Машиностроение, 1989. — 237 с.
3. ГОСТ Р 41.13—2007. Единообразные предписания, касающиеся транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. — М.: Стандарты, 2007. — 48 с.
4. Волков Е.В. Тяговая и тормозная динамика автомобиля: монография. Е.В. Волков. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. — 179 с.

УДК 62.629

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ СКЛАДЫВАНИЯ ЗВЕНЬЕВ БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОПОЕЗДА ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ

Канд. экон. наук **ШЕПЕЛЕВ М.И.**,
д-р техн. наук **СЛИВИНСКИЙ Е.В.**
Елецкий ГУ имени И.А. Бунина (evgtnti_sl@mail.ru)

Описана перспективная конструкция устройства автомобильного полуприцепа, предназначенного для исключения складывания звеньев автопоезда при его резком торможении, и приведены рациональные параметры составляющих его конструктивных элементов.

Ключевые слова: полуприцеп, седельное устройство пружина рычага.

Shepelev M.I., Slivinsky E.V. DEVICE TO EXCLUDE FOLDING OF LINKS HEAVY-DUTY ROAD TRAIN UNDER EMERGENCY BRAKING

The article describes the perspective design of the device of the automobile semi-trailer intended for the exclusion of folding of links of the road train at its sharp braking and shows the rational parameters of its constituent structural elements.

Keyword: semi trailer, fifth-wheel device, the spring arm.

Анализ известных конструкций большегрузных автопоездов, состоящих из седельного тягача и полуприцепа (рис. 1), показывает, что все они склонны к "складыванию" при интенсивном торможении, т.е. быстрому изменению взаимного расположения тягача



Рис. 1. Общий вид большегрузного автопоезда

и прицепного звена. Причём каких-либо специальных устройств, которые бы исключали складывание в их конструкции, до сих пор не предусмотрено. Поэтому в условиях эксплуатации нередко возникают различные по характеру аварийные ситуации, влекущие за собой значительные затраты на ремонт и восстановление техники, и даже приводящие к травматизму людей со смертельным исходом. Учитывая такой недостаток, на кафедре ТПМА ЕГУ имени И.А. Бунина на протяжении ряда лет проводится НИР на тему "Динамика, прочность и надёжность транспортных и сельскохозяйственных машин, а также промышленного оборудования применительно к Чернозёмному региону РФ", одним из разделов которой является разработка перспективных технических решений, повышающих устойчивость движения большегрузных автомобильных поездов.

Изучение многочисленных существующих конструкций фиксирующих устройств, устанавливаемых в местах сцепки тягача с полуприцепом, а также патентных и литературных источников, касающихся этой тематики, позволило разработать перспективное техническое решение (RU2681806), обладающее в сравнении с известными простотой конструкции и повышенной эффективностью при фиксации полуприцепов в аварийных ситуациях при движении многозвенных автопоездов.

Общий вид расчётной схемы автопоезда показан на рис. 2, а узел соединения полуприцепа с автомобилем-тягачом — на рис. 3. На раме 2 автомобиля-тягача 1 шарнирно установлено седло 3, связанное с помощью замка 4 со шкворнем 5 жёстко закреплённым на опорном листе 6 уступа рамы 7 полуприцепа 16. В опорном листе выполнен паз 8, в котором размещено плечо 9 двуплечего рычага, снабжённое на своём конце насечкой 11, а другое плечо 12 шарнирно присоединено к штоку 13 пневмоцилиндра 14 и связано с опорным листом 6 винтовой пружиной растяжения 15.

Работает большегрузный автопоезд следующим образом. При поступательном прямолинейном движе-

нии, например, по стрелке *B* (см. рис. 2 и 3) все его конструктивные элементы находятся в таком состоянии, как это показано на чертежах. В тех случаях, когда тягач совершает угловой поворот по стрелкам *C*, вызванный кривой пути, его седло (совместно с тягачом, за счёт того, что оно связано с рамой 2) проворачивается в горизонтальной плоскости относительно опорного листа 6 по стрелкам *E* так же, как это имеет место в серийных конструкциях автопоездов. В случае же резкого торможения автопоезда одновременно с заполнением тормозных цилиндров тягача и полуприцепа (такие тормозные устройства широко используются в практике) в пневмоцилиндр 14 также поступит сжатый воздух, и его шток 13 переместится по стрелке *K*, что приведёт к угловому повороту двуплечего рычага по стрелке *M*. Получив такой угловой поворот, последний, своими насечками 11, параллельно войдёт в контакт с горизонтальной поверхностью седла, двигаясь по стрелке *N*, что приведет к жёсткому соединению седла и опорного листа полуприцепа, тем самым исключая возможность складывания звеньев большегрузного автопоезда. После того как тормозной режим автопоезда будет отменён, под действием винтовой пружины растяжения 15 двуплечий рычаг повернётся в направлении, обратном стрелке *M*, рассоединив тем самым его с седлом 3, и автопоезд может вновь совершать движение как по прямому, так и криволинейному пути. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Геометрические характеристики пружины растяжения 15 (см. рис. 3) установим конструктивно исходя из

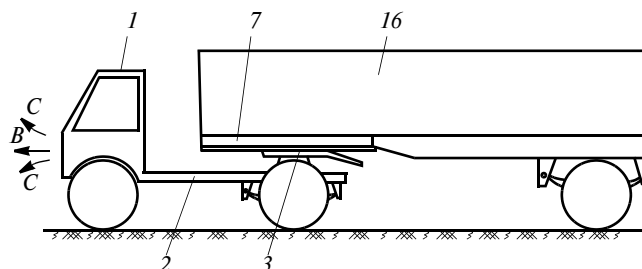


Рис. 2. Принципиальная схема автопоезда по патенту RU2681806

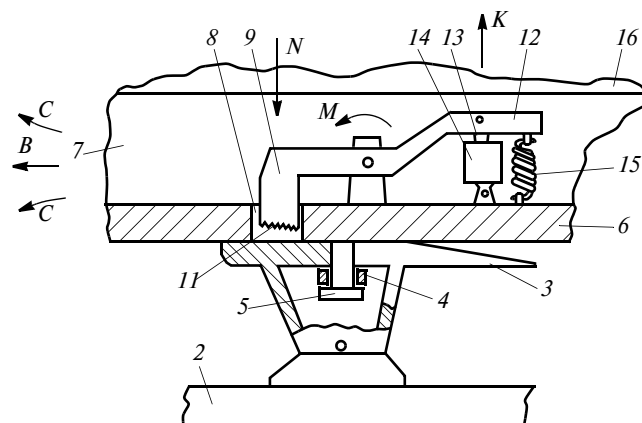


Рис. 3. Седельно-сцепное устройство

того, что возврат в прямолинейное положение полуприцепа после резкого торможения происходит в движении автопоезда. Поэтому согласно рекомендациям работы [1] пружина 15 будет иметь следующие параметры: наружный диаметр пружины $D_{\text{нар}} = 80$ мм, диаметр витка $d = 11$ мм, рабочая нагрузка $P_{\text{пр}} = 170$ кгс, жёсткость пружины $C = 4,89$ кгс/мм, длина пружины $l = 150$ мм в сжатом состоянии и материал пружины прутки сталь 60С2 по ГОСТ 14959—79.

Для анализа эффекта от возможного внедрения предложенной разработки приведём пример определения прогнозируемой величины денежных потоков при модернизации одного серийного автопоезда, состоящего из автомобиля-тягача МАЗ-5432 и полуприцепа МАЗ-93971. Воспользуемся базовыми данными, представленными в табл. 1, которые характеризуются денежными потоками при изготовлении устройства по вышеуказанному патенту.

Следует отметить, что этот прирост вложений обеспечивает наименьшую зависимость предприятия от поставок материалов и полуфабрикатов при разработке и внедрении инновации в производство.

На увеличение денежных потоков оказывает влияние снижение суммы налогов, которая сократилась на $120,0 - 98,4 = 21,6$ тыс. руб. В первую очередь, это произошло за счёт уменьшения налогооблагаемой базы, несмотря на увеличение нормы прибыли на 25 %. Снижение себестоимости в данном случае позволило сократить в целом величину налогов. В результате снижения себестоимости использования модернизированного автопоезда удалось повысить величину денежных поступлений за счёт увеличения нормы прибыльности около 25 % не наращивая производственных мощностей.

Для отражения разности между будущей и текущей стоимостью в экономической практике используется коэффициент дисконтирования K_d [2], который определяется по зависимости 1 (в табл. 2), в которой норму прибыли принимаем равной 25 %, а число лет работы инновации равным 5. Полученный результат показывает, что каждый рубль, вложенный в этот проект, через пять лет увеличится до 3,051 руб.

Известно, что коэффициент дисконтирования должен также учитывать факторы инфляции и риска (если

Таблица 1

| Показатели | Обозначения | Серийный автопоезд | Модернизированный автопоезд |
|--|---|--------------------|-----------------------------|
| Отток наличности, руб. | $K'_{\text{ин}}, K_{\text{ин}}$ | — | 64 000 |
| Себестоимость изготовления автопоезда, тыс. руб. | \mathcal{E} | 1675,3 | 1256,6 |
| Налоги, тыс. руб. | H | 120,0 | 98,4 |
| Чистый денежный поток, тыс. руб./год. | $\mathcal{E}'_{\Sigma}, \mathcal{E}_{\Sigma}$ | 14 339,5 | 18 551,7 |

| № | Формула | Примечания |
|---|--|---|
| 1 | $K_d = \left(1 + \frac{E}{100}\right)^t = \left(1 + \frac{25}{100}\right)^5 = 3,051$ | E — норма прибыли; t — количество лет работы инновации |
| 2 | $K_{\text{ин}} = 1 + E_1 = \frac{\left(1 + \frac{E}{100}\right)^t}{\left(1 + \frac{H}{100}\right)^t} = \frac{\left(1 + \frac{25}{100}\right)^5}{\left(1 + \frac{8}{100}\right)^5} = 2,077$ | H — прогнозируемая величина инфляции; E_1 — норма дисконта с учётом инфляции |
| 3 | $E_2 = E_1 + \frac{P}{100} = 2,077 + \frac{5}{100} = 2,127$ | P — поправочный коэффициент степени риска |
| 4 | $T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ин}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}} = \frac{64\,000}{18\,551,7} = 3,4$ года | $K_{\text{ин}}$ — общая сумма инвестиций в инновации; \mathcal{E}_{Σ} — суммарный результат (денежный поток) |

только они уже не включены в норму дисконтирования). Поэтому коэффициент дисконтирования с учётом инфляции, но без учёта риска, определяется по формуле 2, где прогнозируемая величина инфляции принята равной 8 %. Следовательно, $E_1 = 2,077 - 1 = 1,77$.

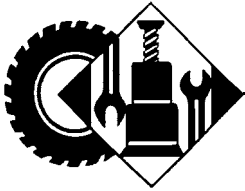
Видно, что величина дисконта с учётом риска меньше величины коэффициента дисконтирования без её учёта. Это связано с тем, что инфляция разъедает денежную массу. С учётом поправки на риск показатель коэффициента дисконтирования рассчитаем по зависимости 3. Так как модернизируется уже имеющийся в производстве автопоезд, то выбираем минимальную ставку риска в размере 5 %.

Показателем, характеризующим время окупаемости капитальных вложений, служит срок окупаемости проекта, который определим по зависимости 4.

На основании вышеизложенного видно, что в течение 3,4 года данный проект покроет все затраты, связанные с внедрением модернизированного автопоезда. Предложенная разработка рекомендуется для дальнейшего широкого изучения и возможного внедрения её на отечественных предприятиях автомобилестроения, а также может быть интересна научно-исследовательским и конструкторским подразделениям, проектирующим подобную технику, как в нашей стране, так и за рубежом.

Литература

1. Шукин М.М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей. М.—Л.: Машгиз, 1961. — 265 с.
2. Мухамедьяров А.М. Инновационный менеджмент: Учеб. Пособие. — М.: ИНФРА-М, 2004. — 127 с.



УДК 656.13

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТОМЛЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА, ОСНОВАННЫЙ НА ТРЁХ ПАРАМЕТРАХ

ПОПОВ А.В., д-р техн. наук СУРКАЕВ А.Л., канд. техн. наук МОИСЕЕВ Ю.И.
Волжский ПИ (филиал) Волгоградского ГТУ (alexandrus238@yandex.ru)

Авторами разработан метод определения утомлённого состояния водителя, основанный на трёх параметрах: отслеживание направления взгляда, изменение цвета склеры глаза, изменение температуры круговой мышцы глаза.

Ключевые слова: водитель, утомление, транспортное средство.

Popov A.V., Surkaev A.L., Moiseev Yu.I. A METHOD FOR DETERMINING FATIGUE OF A VEHICLE DRIVER BASED ON THREE PARAMETERS

The authors developed a method for determining the tired state of the driver, based on three parameters: tracking the direction of view, changing the color of the sclera of the eye, changing the temperature of the circular muscle of the eye.

Keywords: driver, fatigue, vehicle.

Усталость водителя — один из наиболее вероятных факторов возникновения дорожно-транспортных происшествий, так как она влияет на способность водителя принимать решения, замедляет время реакции и снижает внимание водителя [1]. По статистике управление автомобилем в утомлённом состоянии является причиной 10...30 % всех дорожно-транспортных происшествий и одной из основных причин несчастных случаев со смертельным исходом; около 1...3 % ДТП вызвано засыпанием водителя [2]. В США с утомлённым состоянием водителя связывают 15...33 % смертельных аварий [3]. Во Франции в 2017 г. сонливость и усталость во время вождения стали причиной 25 % ДТП со смертельными случаями и травмами [4]. В России данных, раскрывающих масштабы проблемы, пока не существует и о проводимых масштабных исследованиях, подобных европейским, неизвестно.

Состояние водителя за рулём во многом определяется соблюдением режима труда и отдыха, который в РФ регламентирован Приказом Минтранса от 20.08.2004 № 15 "Об утверждении Положения об особен-

ностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей". Согласно приказу с целью контроля соблюдения водителями данного режима на транспортных средствах в обязательном порядке устанавливаются тахографы. При этом положения Приказа, разумеется, не учитывают индивидуальных особенностей водителя. Между тем эти факторы могут увеличить степень усталости водителя и вызвать необходимость более частой и длительной остановки для отдыха. Поэтому абсолютно необходимым видится совместное использование тахографов со специальными приборами (системами) определения усталости водителя. Это является особенно актуальным на длительных междугородних рейсах и при перевозке детей.

Существует три основных направления мониторинга усталости водителя [5]: параметры движения транспортного средства (скорость, отслеживание полосы движения, поворот рулевого колеса); физиологические показатели водителя (электрокардиограмма и электроэнцефалограмма); поведенческие характеристики водителя (движение глаз и выражение лица и др.). Наиболее распро-

странённый и эффективный метод определения утомления основан на принципе окулографии — отслеживания направления зрачка [6].

Авторами разработан метод определения утомлённого состояния водителя, основанный на трёх параметрах: отслеживание направления взгляда, изменение цвета склеры глаза и изменение температуры круговой мышцы глаза.

В определении утомления водителя важную роль играет состояние и положение его зрачков, в частности, скорость перемещения, что характеризует быстроту реагирования на изменяющуюся ситуацию. В данном состоянии зрачки перестают активно перемещаться, вплоть до кратковременной остановки, а сам процесс отслеживания изменяющейся ситуации становится вялотекущим. Использование современного айтрекера позволяет определять координаты, диаметр и скорость перемещения зрачков водителя относительно заданного поля. Необходимость его применения в данном способе заключается в возможности параллельного определения и отслеживания положения и координат выбранных (конкретных) точек склеры и круговой мышцы глаза соответственно, в которых производится определение цвета (длины волны оптического диапазона) склеры глаза и температура круговой мышцы глаза.

Алгоритм работы метода по определению усталости водителя на базе айтрекера "EyeTribe ET1000" заключается в следующем. Вначале производится инициализация и фокусировка камер; далее посредством айтрекера с соответствующим программным обеспечением осуществляется отслеживание движения зрачков, а также определение поля координат фиксации взгляда [7]. При возникновении усталости или засыпании водителя фиксируется отсутствие движения зрачков для промежутка времени $t \geq 3$ с. Парал-

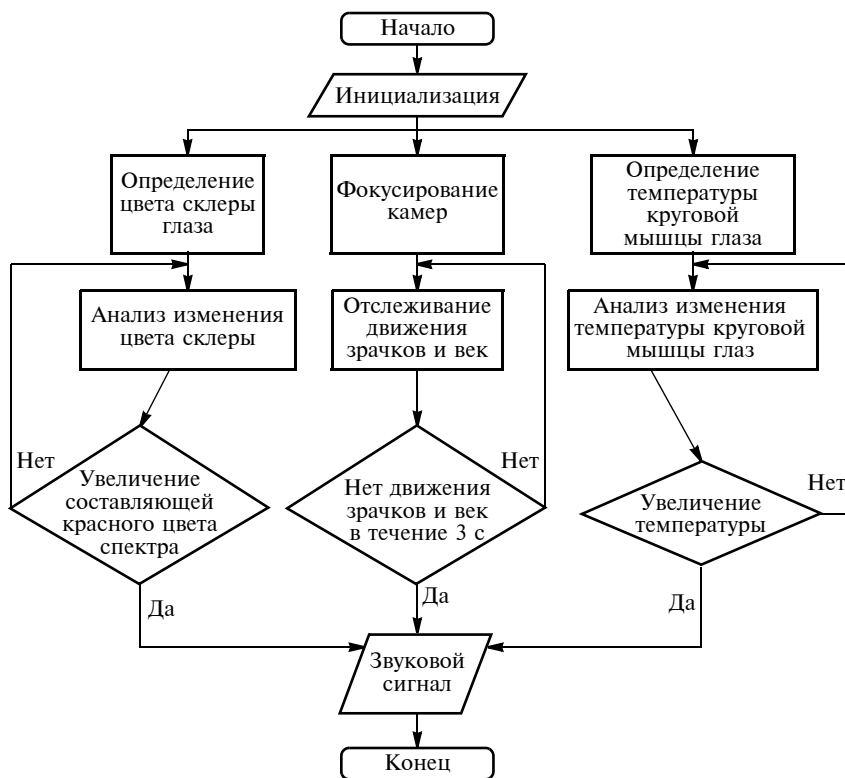


Рис. 1. Алгоритм работы системы определения утомления водителя

лельным образом регистрируется уменьшение поля координат фиксации взгляда на определённую величину. При уменьшении поля координат фиксации взгляда более чем на 60 % либо отсутствию движения зрачков для времени $t \geq 3$ с срабатывает сигнализирующее устройство.

Одновременно с отслеживанием взгляда предлагается производить анализ изменения цвета склеры глаза. Наружный слой её пронизан массой кровеносных сосудов [8], поэтому в процессе развития состояния утомления проявляется один из основных симптомов синдрома усталых глаз (астенопии) — их краснота [9]. Определение цвета склеры в предлагаемом способе осуществляется посредством съёмки глаза с помощью камер айтрекера, проведения RGB-анализа полученных изображений и сопоставления с данными, полученными ранее в процессе наблюдения за водителем, и с эталонными, полученными в процессе его предварительной диагностики. За последние десятилетия RGB-анализ изображений приобрёл всё большее значение в промышленном применении, так как он широко зарекомендовал себя как подходящий

инструмент для контроля качества пищевых продуктов и процессов, металлов, цвета кожи человека, радужной оболочки глаз [10], поэтому было принято решение использовать его в нашем методе. Кроме того, определение цвета склеры глаз может осуществляться посредством оптического мини-спектрометра.

Ещё одним существенным симптомом астинопии, является повышение температуры круговой мышцы глаза, возникающее вследствие частого, непроизвольного смыкания век по причине сухости глаза [11]. Определение температуры круговой мышцы возможно посредством оптического пирометра, работающего в отслеживающем, автономном режиме.

Анализ полученных данных по направлению взгляда, цвету склеры и температуре круговой мышцы осуществляется посредством программного обеспечения, установленного во встроенном микрокомпьютере предлагаемой системы. Таким образом, комплекс приборов, устройств и программного обеспечения интегрируется в единую информационно-измерительную систему, алгоритм работы которой показан на рис. 1.

В начальный момент времени посредством инфракрасных датчиков определяется область лица человека и место нахождения зрачков. Производится определение координаты двух зрачков человека. Определяются также координаты заданных точек на склере и на круговой мышце глаза. Для каждого конкретного водителя, находящегося в нормальном рабочем состоянии, непосредственно перед выездом на линию регистрируется температура мышцы и цвет склеры глаз в выбранных (фиксированных) точках. В дальнейшем процедура определения температуры круговой мышцы глаз и цвета склеры осуществляется через определённый временной интервал, причём его длительность уменьшается в процессе диагностирования. На начальном этапе время определения данных параметров составляет каждые ~20 мин, а в дальнейшем, по мере увеличения длительности нахождения водителя за рулём и его усталости, время сокращается до ~30 с. При превышении установленных параметров подаётся звуковой сигнал [12]. Данная система может также быть выполнена на базе тахографа, с подключением к нему дополнительных устройств [13]. Это даёт определённые преимущества: передача в реальном времени информации о состоянии водителя в диспетчерский пункт, что позволит снизить субъективность со стороны водителя в оценке своего состояния; отслеживание через систему ГЛОНАСС/GPS участков дороги, где водитель испытывает наибольшее утомление и сравнение показателей нескольких водителей; идентификация каждого водителя посредством карты тахографа, что позволит хранить данные о работе нескольких водителей и подстройку систему под каждого из них.

Эффективность представленного метода подтверждена результатами эксперимента с лабораторной моделью. В процессе эксперимента трое молодых мужчин в возрасте 24, 25 и 30 лет в течение 2 часов "управляли" транспортным средством на компьютерном симуляторе. Испытуемые не имели проблем со здоровьем и имели качественный, здоровый сон в период, предшествующий

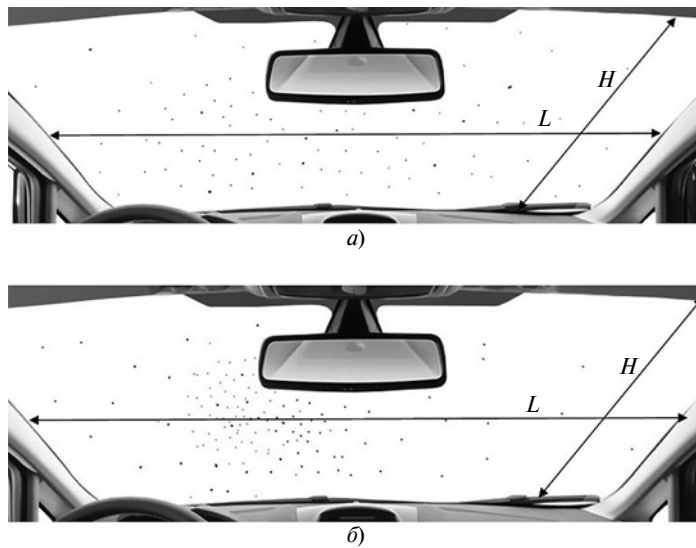


Рис. 2. Распределение точек фиксации взгляда:
 а — в начале эксперимента; б — после двух часов "вождения"

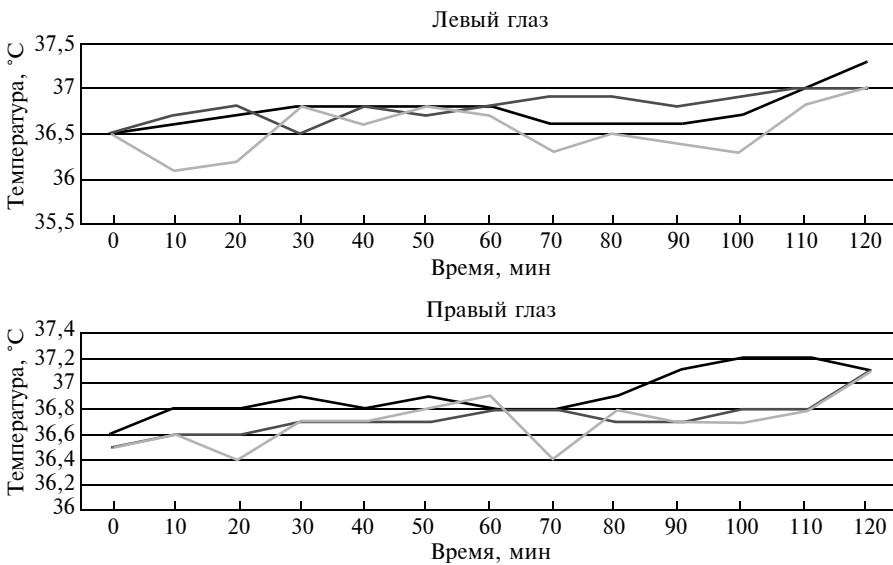


Рис. 3. Изменение температуры круговой мышцы глаз водителя

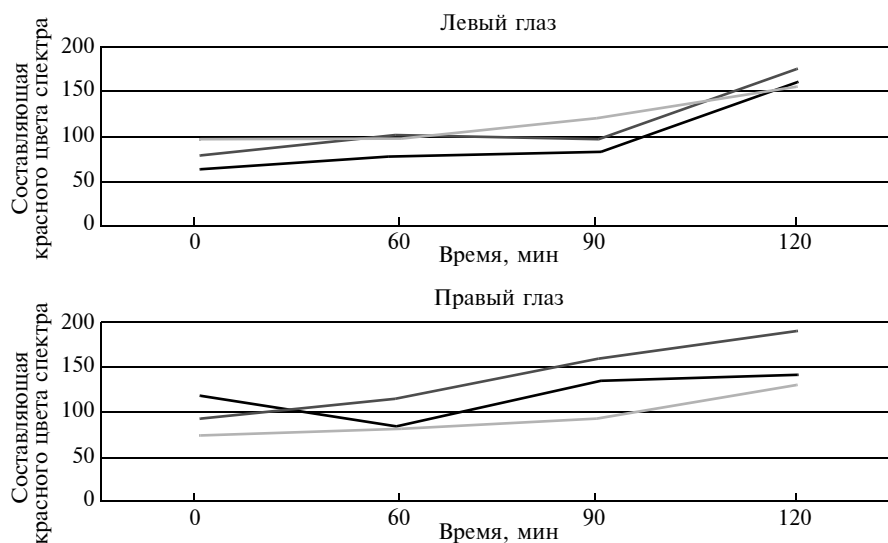


Рис. 4. Изменение составляющей красного цвета спектра при RGB-анализе изображений глаз водителя

эксперименту, не употребляли возбуждающие или затормаживающие реакцию напитки и лекарства, избегали в день эксперимента физических нагрузок. Эксперимент выполнен в тихой и изолированной комнате между 14:00 и 16:00 часами.

На рис. 2 представлены точки фиксации взгляда одного из тестируемых в пределах ветрового стекла автомобиля в зависимости от наступающей усталости. Результаты двух других испытуемых имеют аналогичный вид. Считаем, что граница обзора по вертикали ограничена ветровым стеклом и составляет $H \approx 700\text{--}900$ мм, что соответствует в угловом выражении в пределах от $\alpha_1 \approx 0$ град до $\alpha_2 \approx 30\text{--}70$ град. По горизонтали L угол обзора составляет $\Delta\alpha \approx 180$ град. Из полученных результатов видно, что распределение точек фиксации взгляда (рис. 2, а) тестируемого респондента, находящегося в нормальном состоянии, достаточно равномерно по всей области, требующей внимания водителя. По краям поле фиксации взгляда концентрировано в меньшей степени, и тем не менее оно однородно. Это означает, что респондент собран и внимательно следит за изменяющейся ситуацией в зоне, непосредственно находящейся перед ним, а также в зоне справа и слева от него. По мере усталости зрачки перестают активно перемещаться, вплоть до кратковременной остановки, а сам процесс отслеживания изменяющейся ситуации становится вялотекущим, реакция и концентрация внимания уменьшается (рис. 2, б). Точки фиксации взгляда в основном сосредоточены в области непосредственно перед водителем.

Из приведённых на рис. 3 графиков следует, что температура круговой мышцы глаза, измеряемая в конкретно выбранной точке, неуклонно повышается в зависимости от продолжительности тестирования, достигая некоторого максимального значения, после чего начинают работать "механизмы" саморегуляции температуры. Графики же, показанные на рис. 4, свидетельствуют, что с увеличением продолжительности тестирования и повышения степени усталости происходит смещение цвета склеры в сторону более красных оттенков.

Таким образом, можно говорить об эффективности предлагаемого способа. Конечно, эксперимент проводился в условиях не реального вождения, а его симуляции, он ограничен числом испытуемых, отсутствует влияние внешней среды на водителя, вследствие чего между его результатами и реальной ситуацией могут иметь место определённые отклонения. Поэтому в дальнейшем для повышения точности будут проведены тестирования большего числа водителей непосредственно на транспортных средствах.

Литература

1. Lee M.L., Howard M.E., Horrey W.J., et al.: "High risk of near-crash driving events following night-shift work", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2016, 113, (1). P. 176—181, doi: 10.1073/pnas.1510383112.
2. Stern H.S., Blower D., Cohen M.L., Czeisler C.A., Dinges D.F., Greenhouse J.B., Wegman D.H. (2018). Data and methods for studying commercial motor vehicle driver fatigue, highway safety and long-term driver health. Accident Analysis & Prevention. doi:10.1016/j.aap.2018.02.021
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Drowsy driving — 19 states and District of Columbia 2009—2010. MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep., 2013, 61: 1033—1037.
4. SÉCURITÉ SUR AUTOROUTE. BILAN DES ACCIDENTS MORTELS ET CORPORELS: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.autoroutes.fr/FCkeditor/UserFiles/File/ASFA_AAMC17_WEB.pdf (дата обращения: 19.02.2019)
5. Wang Q., Yang J., Ren M.: "Driver fatigue detection: a survey". The Sixth World Congress on IEEE Intelligent Control and Automation, Dalian, China, June 2006. Vol. 2. P. 8587—8591.
6. Sun M., Tsujikawa M., Onishi Y., Ma X., Nishino A., & Hashimoto S. (2018). A neural-network-based investigation of eye-related movements for accurate drowsiness estimation. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). doi:10.1109/embc.2018.8513491
7. Моисеев Ю.И. Повышение безопасности дорожного движения за счёт внедрения на транспортное средство самообучающейся системы определения усталости водителя / Ю.И. Моисеев, А.В. Попов, А.А. Рыбанов, А.Л. Суркаев // Автотранспортное предприятие. — 2016. — № 7. — С. 5—8.
8. Склера глаза: строение, функции, заболевания и лечение: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zrenimed.com/stroenie-glaza/sclera> (дата обращения: 01.04.2019)
9. Neugebauer A., Fricke J., Rüssmann W. Asthenopia: frequency and objective findings. Ger. J. Ophthalmol. 1992; 1(2): 122—124.
10. Mat Raffei A.F., Asmuni H., Hassan R., & Othman R.M. (2014). Fusing the line intensity profile and support vector machine for removing reflections in frontal RGB color eye images. Information Sciences, 276, 104—122. doi:10.1016/j.ins.2014.02.049
11. Строение круговой мышцы глаза: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zdorovyeglaza.ru/raznoe/krugovaya-myshca-glaza.html> (дата обращения: 01.04.2019)
12. Пат. 2700253 Российская Федерация, МПК В60К 28/02, G08В 23/00, G08В 21/06. Способ предупреждения засыпания водителя транспортного средства / Моисеев Ю.И., Суркаев А.Л., Попов А.В., Суркаев В.А.; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный технический университет". — № 2018147820; заявл. 29.12.2018; опубл. 13.09.2019, Бюл. № 26.
13. Моисеев Ю.И. Возможности интеграции в тахограф дополнительных систем / Ю.И. Моисеев, А.В. Попов // Журнал автомобильных инженеров. — 2017. — № 5 (106). — С. 12—14.

УДК 621.436

СПОСОБ УДАЛЕНИЯ НАГАРА С ДЕТАЛЕЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

БИРЮКОВ Н.Н., МУДРЕЦОВ Д.Н., д-р техн. наук **МАРКОВ В.А.,**
д-р хим. наук **ИВАНКИН А.Н., КАРПЕЦ Ф.С.**
ООО "Техно-Хилл Клаб", МГТУ имени Н.Э. Баумана
(vladimir.markov58@yandex.ru)

Рассмотрены механизмы и особенности образования нагара на деталях камеры сгорания двигателя внутреннего сгорания. Предложен способ очистки деталей двигателя внутреннего сгорания от отложений нагара путём подачи в цилиндры двигателя водородно-воздушной смеси. Разработана установка "Лидер-4М" по удалению нагара в двигателях внутреннего сгорания с помощью водородно-воздушной смеси. Проведены экспериментальные исследования установки на моторном стенде. Подтверждена эффективность этой установки при очистке деталей двигателей от нагара и кокса.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, бензиновый двигатель, дизельный двигатель, нагарообразование, очистка деталей от нагара, водородно-воздушная смесь.

Biryukov N.N., Mudretsov D.N., Markov V.A., Ivankin A.N., Karpets F.S. **METHOD FOR REMOVING CARBON PARTICLES FROM PARTS OF THE COMBUSTION CHAMBER OF AUTOMOBILE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

The mechanisms and features of carbon formation on the parts of the combustion chamber of the internal combustion engine are considered. A method for cleaning the parts of the internal combustion engine from carbon deposition by the way of supplying a hydrogen-air mixture into the engine cylinders is suggested. The "Leader-4M" apparatus for removing carbon deposition with the help of hydrogen-air mixture in internal combustion engines was developed. Experimental testing of the apparatus on the motor installation was carried out. The efficiency of this apparatus when cleaning the engine parts from carbon and coke deposition was proved.

Keywords: internal combustion engines, gasoline engine, diesel engine, diesel fuel, carbon formation, cleaning of parts from carbon deposits, hydrogen-air mixture.

Надёжность и безотказность эксплуатации транспортных средств в значительной степени определяются техническим состоянием их двигателей. В связи с этим важнейшим фактором эффективной и безопасной эксплуатации автомобилей является их регулярное техническое обслуживание [1—3]. При таком техническом обслуживании особое внимание нужно уделять состоянию деталей, образующих камеру сгорания ДВС. В процессе эксплуатации автомобиля эти детали подвергаются не только воздействию больших нагрузок, но и неблагоприятному воздействию высоких температур сгорания топливовоздушной смеси.

С момента начала эксплуатации двигателя внутреннего сгорания его техническое состояние непрерывно изменяется [4, 5]. При этом наблюдается изнашивание деталей двигателя, отложение нагара и кокса на поверхностях камеры сгорания, нарушение регулировок и т.п. Такое постепенное изменение технического состояния приводит к появлению неисправностей. Постепенно

состояние двигателя становится таким, что двигатель уже не отвечает хотя бы одному из требований, предъявляемых нормативно-технической документацией к его параметрам. При дальнейшей эксплуатации такого неисправного двигателя наступает отказ — полное нарушение его работоспособности.

Одним из основных факторов изменения технического состояния двигателя внутреннего сгорания в процессе эксплуатации транспортного средства является нагарообразование и коксообразование в камере сгорания [6—9]. Нагар образуется на днище поршня и его боковой поверхности, в поршневых канавках и на поршневых кольцах, на поверхности головки цилиндров, гильз цилиндров, впускных и выпускных клапанах, свечах зажигания (рис. 1).

Нагарообразование на указанных деталях двигателей внутреннего сгорания в значительной степени химическим и фракционным составом топлива, а также свойствами применяемого моторного масла [10—13]. Основная причина нагарообразования в ДВС состоит в неполном сгорании топлива и масла, попавших на поверхности головки цилиндра, поршня и стенки цилиндра, находящейся в зоне высоких температур. При этом большая часть продуктов сгорания выбрасывается вместе с отработавшими газами в атмосферу, а часть оседает на поверхностях головки блока цилиндров и поршня, особенно на таких важных поверхностях камеры сгорания, как седла выпускных клапанов, на жаровом поясе поршня и буртиках между кольцами. Наиболее опасная зона — канавки компрессионных колец и маслосъемного кольца. Это связано с тем, что часть рабочей смеси с температурой 1500...2000 °С поступает в поршневую канавку. Высокотемпературные рабочие газы взаимодействуют с находящимся в ней маслом, окисляют его, образуя новый нагар, а уже имеющийся нагар коксует.

Следует отметить, что в нефтяных моторных топливах присутствуют смолистые и смолообразующие соединения, количество которых зависит от вида и состава топлива, технологии его получения, способов очистки. Различают смолы факти-

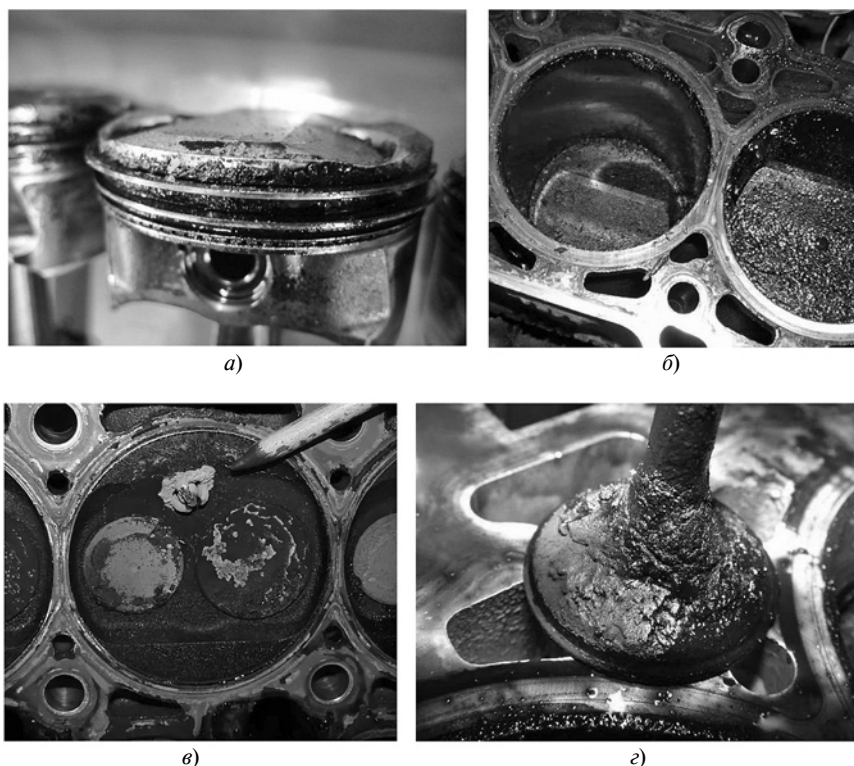


Рис. 1. Образование нагара на днище поршня, его боковой поверхности, на поршневых канавках и поршневых кольцах (а), на гильзе цилиндров (б), поверхности головки цилиндров и свечи зажигания (в), на выпускном клапане (з)

ческие, т.е. находящиеся в топливе в момент их определения в растворенном состоянии, и смолообразующие вещества — различные нестойкие соединения. В первую очередь, это непредельные углеводороды, которые при хранении, повышенной температуре воздуха, воздействия других факторов переходят в смолы, которые называют потенциальными смолами. Содержание в топливе фактических смол в моторных топливах лимитируется соответствующими нормативными документами [14, 15]. В соответствии с ГОСТ 32513—2013 для бензинов АИ-80, АИ-92, АИ-95, АИ-98 концентрация фактических смол не должна превышать 5 мг в 100 см³ топлива (этот показатель определяется по ГОСТ 1567 и ГОСТ 32404) [14].

В камерах сгорания автомобильных ДВС нагар может образоваться уже после 12—15 тыс. км пробега автомобиля. На нагарообразование влияют температурные условия в камере сгорания (температура газов и деталей) и режим работы двигателя. В современных форсированных высокооборотных двигателях вследствие высокой температуры про-

цесса сгорания на форсированных режимах днище поршня и крышка цилиндра покрываются лишь тонким слоем сажи, не влияющим на работу двигателя. Но длительная эксплуатация транспортного средства на режимах с пониженной частотой вращения и неполной нагрузкой может приводить к усиленному коксованию деталей двигателя. Способствуют нагарообразованию эксплуатация непрогретого двигателя, его частая эксплуатация на режимах с небольшой нагрузкой, движение автомобиля с небольшой скоростью при работе двигателя на режимах с малыми частотами вращения, стояние автомобиля в "пробках", зимняя эксплуатация двигателя.

Нагар и кокс, образующиеся на деталях КС заметно ухудшают характеристики двигателя. Это связано с тем, что слой нагара отличается плохой теплопроводностью, поэтому он ухудшает отвод теплоты в системы охлаждения и смазки, что, в свою очередь, приводит к перегреву двигателя. В результате перегрева падает мощность двигателя, ухудшается топливная экономичность, возрастает токсичность отработавших

газов, ухудшаются другие характеристики двигателя, уменьшается его ресурс. Нагар, образовавшийся в камере сгорания, часто становится причиной возникновения детонации и калильного зажигания. Наличие нагара может привести и к более неприятным последствиям, таким как потеря подвижности поршневых колец, прогорание выпускных клапанов, выход из строя деталей шатунно-поршневой группы. При большом нагарообразовании повышается износ двигателя, ухудшается процесс сгорания топлива, увеличивается его расход. Возможно отложение нагара на свечах зажигания, что при длительной эксплуатации приводит к выходу их из строя.

Признаки наличия нагара, образовавшегося внутри цилиндров и на прочих его деталях, проявляются следующим образом. Непрогретый двигатель плохо запускается, после запуска двигателя он сильно дымит, ОГ имеют специфический запах гари, отмечается снижение динамики разгона автомобиля и перерасход топлива. В целом повышенное нагарообразование приводит к ухудшению технико-экономических и экологических характеристик двигателя, уменьшению межремонтных циклов и снижению общего ресурса двигателя.

К наиболее эффективным способам очистки деталей двигателя от нагара и кокса относится подача в цилиндры водородо-воздушной смеси. Одной из возможных реализаций такой работы ДВС, обеспечивающей эффективную очистку деталей двигателя от нагара и кокса, является подача в камеру сгорания газа Брауна [6, 16]. Его иногда называют гремучим газом, оксигидрогеном, часто обозначают как ННО (англ. *Browns Gas, HHO gas, fire damp, detonating gas, oxyhydrogen gas*). Газ Брауна обычно получают путём электролиза воды. Технология его получения состоит в расщеплении воды за счёт энергии электрического тока на компоненты — ионы водорода H^+ , гидроксильной группы OH^- , кислорода O^{2-} . Следует отметить, что на практике электролизеры не производят чистый газ Брауна, он практически всегда содержит некоторый процент молекул H_2 и O_2 . С течением времени заряжен-

ные ионы (H^+ , OH^- , O^{2-}) соединяются с образованием молекулы водорода H_2 и кислорода O_2 . Причём в реакции соединения указанных ионов в молекулы водорода H_2 и кислорода O_2 происходит выделение теплоты. Таким образом, эта смесь кроме отдельных заряженных ионов H^+ , OH^- , O^{2-} содержит обычные молекулы водорода H_2 , кислорода O_2 , а также воды H_2O (водяной пар).

Электрохимическое разложение воды в электролизере протекает следующим образом. Чистая (дистиллированная) вода распадается на ионы: $H_2O = H^+ + OH^-$. Далее протон H^+ и гидроксильная группа OH^- участвуют в реакциях разряда. На катоде электролизера происходит следующая реакция: $2H^+ + 2e = H_2\uparrow$, где e — электрон. На аноде электролизера процесс следующий: $4OH^- + 4e = 2H_2O + O_2\uparrow$. Эти процессы происходят в чистой воде.

Если процесс электролиза реализуется при использовании воды, содержащей растворённые в ней соли, то необходимо учитывать так называемый электрохимический ряд напряжений, который имеет примерно такой вид:

разряда катионов: $K^+ > Na^+ > \dots > Zn^{2+} > Fe^{2+} \dots H^+ > Cu^{2+} > Ag^+$;
разряд анионов: $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > OH^- > J^-$.

Это означает, что если в воде есть примеси ионов, стоящих справа от протона и гидроокисла, то они и будут разряжаться. Если в такой воде есть ионы, стоящие в обозначенном ряду правее H^+ (протона) или OH^- (гидроксила), например, меди, серебра, йода и др., то они и будут разряжаться. Если этих ионов нет, то в водной среде будут разряжаться протон и гидроксил с образованием газообразного водорода и кислорода по приведённым выше реакциям. На протекание указанных реакций электролиза воды оказывают влияние такие факторы, как электрохимическое перенапряжение воды, диффузные факторы, конструкция электролизера, тип электрода, применяемые при изготовлении электролизера материалы и т.д.

В соответствии с законом Фарадея масса m [г] образующегося при электролизе воды вещества может быть определена по формуле:

$m = \frac{\Delta}{F} \cdot i \cdot t$, где Δ — эквивалентная масса водорода [г/моль] (равна единице); F — число Фарадея [Кл] (равно 96 500 Кл); i — сила постоянного тока [А]; t — продолжительность очистки двигателя от нагара. С использованием параметров описанной ниже установки *Leader-4M* ($i = 20$ А, $t = 30$ мин = 1800 с) можно определить количество выделившегося на катоде электролизера водорода при разложении воды по вышеприведённым формулам. Согласно закону Фарадея из 1 моля воды (18 г) можно получить следующее количество водорода: $m = \frac{1}{96\,500} \cdot 20 \cdot 1800 = 0,37$ г.

Реакция полного распада воды выглядит так: $2H_2O = 2H_2 + O_2$ или $2 \cdot 18$ г = $2 \cdot 2$ г + 32 г. Таким образом, из 36 г чистой воды можно получить 4 г водорода и 32 г кислорода. Молярная масса воды при нормальных условиях занимает 22,4 л (т.е. 2 г = 22,4 л.). В результате из 36 г (36 мл) дистиллированной воды теоретически можно получить 44,8 л газообразного водорода, а из литра воды можно получить 1244 л газообразного водорода.

Следует отметить, что водород с кислородом образуют так называемую гремучую смесь. При соотношении содержания в смеси водорода и кислорода, равном 2:1, эта смесь взрывается. Нижний концентрационный предел взрываемости смеси соответствует содержанию водорода, равному всего 4 % (у бытового природного газа предел взрываемости равен 14 %). В связи с этим, главная конструктивная особенность электролизеров — обязательное наличие пористой водонепроницаемой, но газонепроницаемой перегородки, разделяющей катодное и анодное пространство. Эта перегородка предотвращает смешивание водорода и кислорода.

Итак, при разложении воды в электролизере образуются ионы (H^+ и OH^-). Если конструкция электролизера несовершенна (плохая межкамерная перегородка) или специально сделано так, что микропримеси кислорода попадают в водород, тогда этот самый газ может представлять собой не очень чистый газообразный водород с небольшими примесями паров воды и кислорода. С химической точки зрения

радикалы могут образовываться под воздействием электрической энергии в процессе электролиза. Но эффект рекомбинации неизбежно должен приводить к рекомбинации, т.е. к слиянию двух радикалов и получению газообразного водорода. При этом время существования указанных радикалов мало. Известны процессы восстановления различных веществ атомарным водородом. Это химические реакции гидрирования, где атомарный водород выступает в роли очень активного восстановителя. Но затем атомарный водород быстро преобразуется в молекулу водорода или в другие молекулы, содержащие водород. Этот процесс протекает сравнительно быстро.

Исследованиям по использованию водорода в двигателях внутреннего сгорания посвящены многие публикации [16–20]. При этом применение водорода в качестве топлива для ДВС рассматривается в качестве кардинального средства снижения токсичности отработавших газов [16, 21]. Существуют различные способы получения и применения водорода в ДВС. Возможно хранение уже полученного водорода на борту транспортного средства и его использование в качестве топлива [17]. Другое направление — получение водорода (или газа ННО) в генераторе путём электролиза воды непосредственно перед подачей его в цилиндры двигателя [18, 19]. В работе [20] отмечается, что использование водорода в качестве добавки к нефтяному дизельному топливу приводит к увеличению соотношения содержания атомов водорода и углерода (H/C) в смесевом топливе. Это создаёт предпосылки к уменьшению выброса парникового углекислого газа. Кроме того, впрыскивание нефтяного дизельного топлива с добавкой водорода уменьшает неоднородность его распыливания из-за высокой диффузии водорода. Это

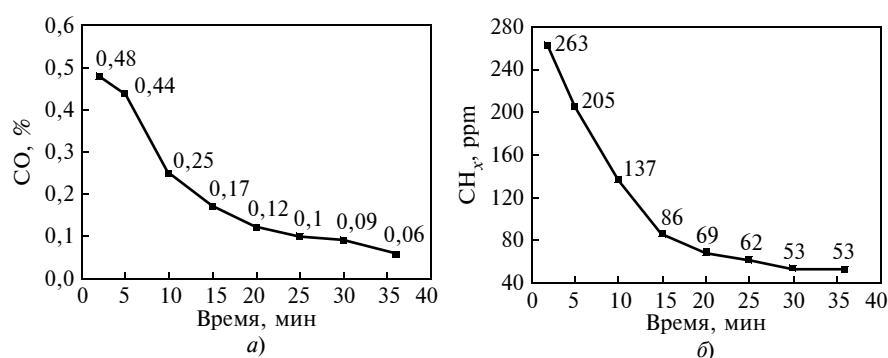


Рис. 2. Снижение содержания в отработавших газах бензинового двигателя автомобиля "Тойота Корона" монооксида углерода (а) и несгоревших углеводородов (б) в процессе очистки его деталей от нагара

обеспечивает большую однородность горючей смеси. В результате сокращается время тепловыделения из-за повышения скорости распространения пламени, создаются предпосылки для улучшения мощностных, экономических и экологических показателей двигателя.

Кроме применения водорода в качестве топлива для ДВС возможно его использование и для удаления нагара и кокса в двигателях внутреннего сгорания, проводимого в ходе технического обслуживания автомобиля и двигателя. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Некоторые установки для генерирования водорода (газа Брауна) для двигателей внутреннего сгорания запатентованы. Большинство патентов относятся к различным методам производства водорода на борту транспортного средства или на станции технического обслуживания (электролиз и др.), преобразования различных топлив в водородсодержащие газы, сжигания водорода в камерах сгорания ДВС. Лишь немногие патенты, посвящены использованию водорода для очистки деталей камеры сгорания от нагара. Так, в патенте США № 20120167930, для очистки двигателей предложено использовать полученную электролизом воды смесь водорода и кислоро-

да после её осушки [22]. На рис. 2 и в табл. 1 приведены значения концентраций в отработавших газах бензинового двигателя автомобиля "Тойота Корона" (1992 года выпуска) монооксида углерода CO и несгоревших углеводородов CH_x до очистки деталей двигателя водородом, в период его очистки и после очистки. Отмечено значительное снижение эмиссии этих токсичных компонентов после очистки деталей камеры сгорания с использованием предложенного способа. Аналогичные исследования проведены и с бензиновым двигателем автомобиля "Форд Эскейп" (2004 г.в.): приведённые в табл. 2 результаты свидетельствуют о том, что очистка деталей камеры сгорания с использованием предложенного способа позволяет сократить эксплуатационный расход топлива на 7,3–9,2 %.

Метод очистки поверхностей камеры сгорания автомобильных двигателей смесью водорода и кислорода после её осушки описан в Европейском патенте EP 3066315 [23]. Предложенная система удаления нагара состоит из нескольких локальных блоков, которые взаимодействуют с удалённой системой управления. Каждый блок удаления нагара двигателя включает в себя блок управления потоком водорода, который соединён с источником сухого водорода, трубопровод распределения водорода, предназначенный для подачи сухого водорода в двигатель, анализатор состава отработавших газов, предназначенный для измерения содержания токсичных компонентов и определения набора соответствующих значений сигнала от лямбда-зонда, характеризующих со-

Таблица 1

| Токсичные компоненты | Концентрации в отработавших газах двигателя | | | | | | | |
|-----------------------|---|--|------|------|------|------|------|---------------|
| | до очистки | в процессе очистки по времени, мин ⁻¹ | | | | | | после очистки |
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | |
| CO, % | 0,48 | 0,44 | 0,25 | 0,17 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,06 (87 %) |
| CH _x , ppm | 263 | 205 | 137 | 86 | 69 | 62 | 53 | 53 (80 %) |

отношение подачи топлива и воздуха. Блок управления потоком водорода предназначен для контролируемой подачи сухого водорода в двигатель во время работы двигателя в соответствии с типом двигателя, его мощности и ряда других параметров. Проведено сравнение процедуры очистки деталей камеры сгорания от нагара при использовании "сухого" водорода (практически чистый водород) и "влажного" водорода (газовая смесь, полученная электролизом воды). Проведены измерения содержания в отработавших газах

бензинового двигателя несгоревших углеводородов (CH_x), монооксида углерода (CO), диоксида углерода (CO_2) и остаточного кислорода (O_2). Отмечено снижение эмиссии монооксида углерода и углеводородов после процедуры очистки от нагара. С использованием эндоскопа получены изображения поверхностей внутри камеры сгорания, подтверждающие эффективность предложенного метода очистки деталей двигателя от нагара.

В патенте США № 20160047284 описаны способ и устройство для

предотвращения и удаления отложений нагара на детали дизельного двигателя [24]. Предложено подавать водород не только на впуске, а ещё и непосредственно в сажевый фильтр. При этом осаждённый в фильтре углерод преобразуется в газообразные углеводороды, уменьшается выброс оксидов азота. Одним из преимуществ этого способа использования водорода является незначительное увеличение температуры сажевого фильтра во время обработки, что снижает риск повреждения керамики фильтра. Полученные с использованием эндоскопа изображения поверхностей внутри камеры сгорания подтверждают эффективность предложенного способа очистки деталей двигателя от нагара.

В Европейском патенте EP 3187460 предложен метод очистки деталей двигателя от нагара с использованием водорода, полученного каталитическим риформингом метанола [25]. Этот процесс представляет собой набор реакций, которые протекают в присутствии специальных катализаторов (палладий, медь) и позволяют расщеплять молекулу метанола CH_3OH на составляющие — водород H_2 и монооксид углерода CO. В соответствии с вариантами реализации изобретения рабочая мощность риформера составляет всего 100 Вт. При этом процесс водородной очистки деталей камеры сгорания происходит в течение трёх минут. Преимуществом предложенного устройства является высокая скорость получения водорода, значительно превышающая скорость получения водорода путём электролиза воды, а также значительно более низкая стоимость получаемого водорода (в 7–10 раз дешевле, чем при электролизе воды). Поэтому изобретение может быть использовано в бензиновых двигателях или дизелях большого рабочего объёма. В табл. 3 приведены результаты, свидетельствующие об уменьшении выбросов с отработавшими газами загрязняющих веществ после очистки с использованием предложенной технологии деталей двигателя рабочим объёмом 2000 см^3 (общее потребление водорода — 960 литров).

Установки для генерирования газа Брауна и его использования для

Таблица 2

| Общий пробег автомобиля, км | Условия эксплуатации | Потребление топлива, л | Пройденное расстояние, км | Расход топлива, л/100 км |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <i>До обработки</i> | | | | |
| 79 553 | — | — | — | — |
| 79 986 | Город | 45,15 | 433 | 10,43 |
| 80 438 | Шоссе | 43,00 | 452 | 9,51 |
| 80 902 | Город | 48,73 | 464 | 10,50 |
| 81 370 | Шоссе | 44,87 | 468 | 9,59 |
| 81 775 | Город | 42,67 | 405 | 10,54 |
| Среднее значение по городу | | | | 10,49 |
| Среднее значение по шоссе | | | | 9,55 |
| <i>После обработки</i> | | | | |
| 81 775 | — | — | — | — |
| 82 320 | Шоссе | 44,81 | 545 | 8,22 |
| 82 823 | Шоссе | 43,86 | 503 | 8,72 |
| 83 284 | Город | 44,67 | 461 | 9,69 |
| 83 718 | Город | 42,34 | 434 | 9,76 |
| 84 115 | Шоссе | 36,02 | 397 | 9,07 |
| Среднее значение по городу | | | | 9,72 (–7,3 %) |
| Среднее значение по шоссе | | | | 8,67 (–9,2 %) |

Таблица 3

| Метод получения водорода для очистки деталей от нагара | Концентрация токсичных компонентов в отработавших газах двигателя | | | | Полная стоимость энергии (долл. США) |
|--|---|-------------------|----------------------|-------------|--------------------------------------|
| | Компонент | до обработки, ppm | после обработки, ppm | Снижение, % | |
| Электролиз воды | CO | 2800 | 600 | 79 | 3,58 |
| | CH_x | 193 | 82 | 58 | |
| | NO_x | 120 | 20 | 83 | |
| Мембранный электролиз полимерного электролита | CO | 227 | 41 | 82 | 4,90 |
| | CH_x | 188 | 148 | 21 | |
| | NO_x | 82 | 25 | 70 | |
| Способ очистки от нагара водородом в вариантах изобретения | CO | 22 800 | 700 | 97 | 0,51 |
| | CH_x | 1761 | 221 | 87 | |
| | NO_x | 41 | 2 | 95 | |



Рис. 3. Общий вид установки "Лидер-4М"

удаления нагара и кокса в двигателях внутреннего сгорания уже производится в ряде европейских стран, в частности, во Франции. В московском ООО "Техно-Хилл Клуб" разработана своя установка 3 "Лидер-4М" (ТУ 28.29.12-002-51033879—2018) по удалению нагара (окалины) в двигателях внутреннего сгорания с помощью водородно-воздушной смеси [26, 27]. Эта установка является аналогом французской, но её стоимость примерно втрое меньше. Общий вид установки показан на рис. 3, а технические характеристики приведены в табл. 4.

Установка "Лидер-4М" предназначена для очистки деталей двигателя от нагара водородно-воздушной смесью в процессе его технического обслуживания. Водород (газ Брауна) генерируется в ней из специального раствора за счёт постоянного электрического тока от аккумулятора двигателя. Этот газ через впускную систему работающего двигателя подаётся в его цилиндры. С помощью водородно-воздушной смеси происходит очистка от нагара деталей двигателя: поршней, клапанов, форсунок, деталей системы рециркуляции отработавших газов (системы *EGR*), турбины турбокомпрессора, каталитического нейтрализатора, сажевого фильтра. Стоимость процедуры очистки двигателя от нагара устанавливается покупателями оборудования и обычно колеблется от 1000 до 5000 руб. в зави-

симости от объёма обрабатываемого двигателя. Рекомендуемая продолжительность процедуры очистки двигателя внутреннего сгорания от нагара зависит от объёма двигателя (табл. 5) и устанавливается с помощью таймера на панели управления установки индивидуально.

Процедура очистки двигателя внутреннего сгорания от нагара водородно-воздушной смесью с помощью установки "Лидер-4М" не требует замены масла, использования других расходных материалов и абсолютно безопасна для автомобиля. Установка отличается простотой технического обслуживания, максимальным уровнем безопасности, мобильностью (она компактна и помещается в багажник практически любого автомобиля), а также автономностью (работает от аккумулятора автомобиля). Следует отметить и небольшую продолжительность очистки двигателя внутреннего сгорания от нагара с помощью данной установки (см. табл. 5).

Для оценки эффективности установки "Лидер-4М" проведены испытания по очистке от нагара деталей дизеля автомобиля "Тойота Ленд Крузер Прадо 3.0 TD" непосредственно на моторном стенде. Пробег автомобиля до проведения процедуры очистки составил 77 000 км, максимальная мощность двигателя составляла $N_e = 169,3$ л.с. (124,5 кВт), а максимальный крутящий момент $M_e = 459,9$ Н·м (рис. 4).

Таблица 4

| Параметр | Значение |
|---|-----------------------|
| Производитель | ООО "Техно-Хилл Клуб" |
| Стоимость установки, руб. | 19 5000 |
| Стоимость процедуры очистки, руб. | От 1000 |
| Габаритные размеры: длина × ширина × высота, мм | 320 × 320 × 800 |
| Масса, кг | 29 |
| Рабочий объём обрабатываемых двигателей, л | 0,125...25 |
| Наиболее распространённый рабочий объём, л | 2...3 |
| Напряжение питания, В (постоянный ток) | 12...14 |
| Сила тока, ампер (от аккумулятора) | 14...24 |
| Рабочая температура, °С | 0...60 |
| Вместимость электролизера, литры | 2,5 |
| Объём выделяющегося газа, л/мин | До 6 |
| Срок службы электролизеров, лет | 8 |
| Гарантия на установку, лет | 1 |

Таблица 5

| Рабочий объём двигателя, л | Рекомендуемая продолжительность очистки от нагара, мин |
|----------------------------|--|
| До 2,0 | 30 |
| 2,0—3,0 | 40 |
| 3,0—4,0 | 45 |
| 4,0—5,5 | 50 |
| Более 5,5 | 60 |

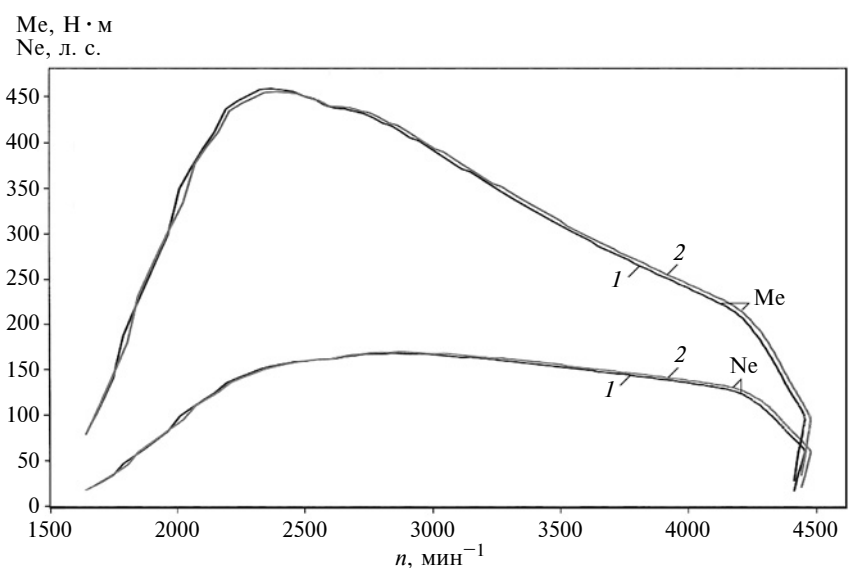


Рис. 4. Внешняя скоростная характеристика дизеля автомобиля "Тойота Ленд Крузер Прадо 3.0 TD": 1 — до очистки двигателя; 2 — после очистки

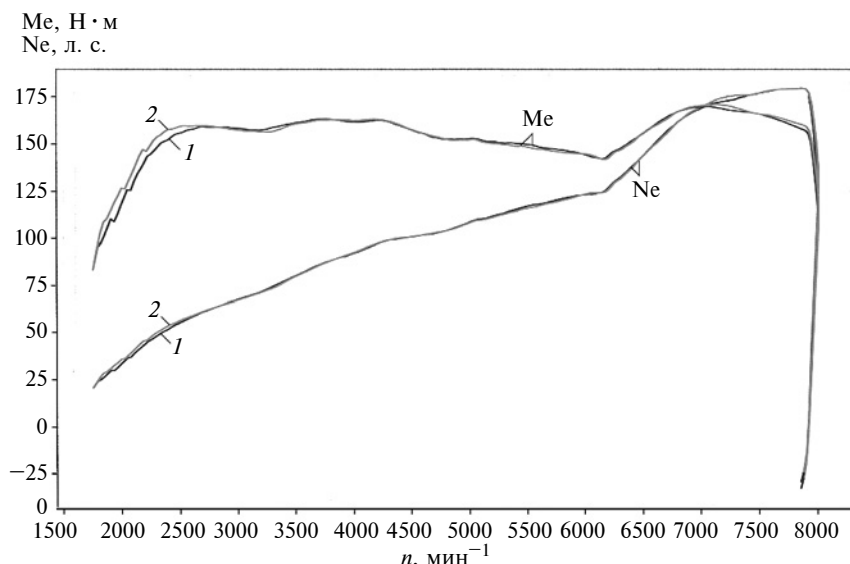


Рис. 5. Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя автомобиля "Тойота Селика 1,8i-174":

1 — до очистки двигателя; 2 — после очистки

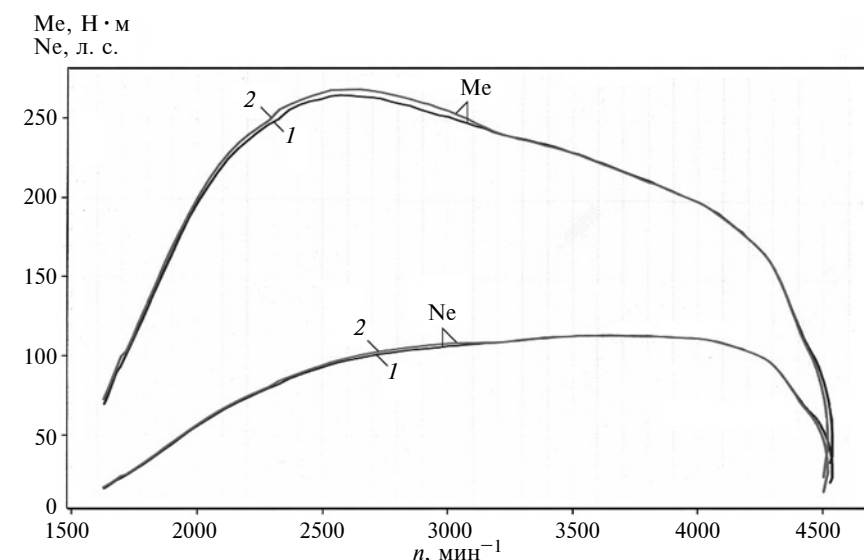


Рис. 6. Внешняя скоростная характеристика дизеля микроавтобуса "Мерседес-Бенц Вито 1.6 TD-057":

1 — до очистки двигателя; 2 — после очистки

Процедура очистки деталей двигателя от нагара длилась 45 минут. Замеры мощности и крутящего момента двигателя после обработки дали следующие результаты: максимальная мощность увеличилась до $N_e = 170,9$ л.с. (125,7 кВт), а максимальный крутящий момент остался неизменным $M_e = 459,9$ Н·м (см. рис. 4). Таким образом, после очистки деталей двигателя от нагара с использованием установки "Лидер-4М" максимальная мощность увеличилась примерно на 1,0 %.

Эффективность установки подтверждена и при испытаниях бензинового двигателя автомобиля "Тойота Селика 1,8i-174" на том же моторном стенде. До обработки максимальная мощность двигателя составляла $N_e = 177,3$ л.с. (130,4 кВт), а максимальный крутящий момент $M_e = 169,7$ Н·м. После 45 минутной очистки максимальная мощность увеличилась до $N_e = 179,1$ л.с. (131,7 кВт), а максимальный крутящий момент — до $M_e = 170,8$ Н·м (рис. 5), т.е. увеличились соответственно на 1,0 и 0,6 %.

Подобным образом проведены испытания дизеля микроавтобуса "Мерседес-Бенц Вито 1.6 TD-057". До обработки максимальная мощность двигателя была равна $N_e = 115,1$ л.с. (84,7 кВт), а максимальный крутящий момент $M_e = 266,0$ Н·м. После очистки деталей двигателя в течение 40 минут максимальная мощность осталась на уровне $N_e = 115,1$ л.с. (84,7 кВт), а максимальный крутящий момент возрос до $M_e = 269,7$ Н·м, т.е. на 1,4 % (рис. 6).

Отмечено, что рассматриваемая процедура очистки деталей двигателя от нагара водородно-воздушной смесью оказывает значительное влияние на выбросы токсичных компонентов отработавших газов. На рис. 7 представлены результаты замеров их эмиссии бензиновыми двигателями автомобилей "Мицубиси Лансер" и "Субару Легаси" газоанализатором АВГ-4. Концентрации монооксида углерода CO и несгоревших углеводородов CH_x , а также диоксида углерода CO_2 , кислорода O_2 и коэффициенты избытка воздуха измерялись на режиме максимальной мощности указанных двигателей до и после процедуры

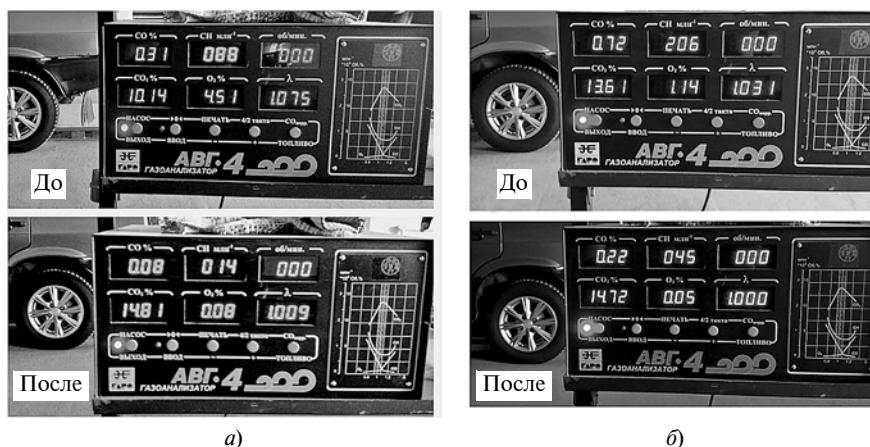


Рис. 7. Результаты замеров эмиссии токсичных компонентов отработавших газов бензиновых двигателей автомобилей "Мицубиси Лансер" (а) и "Субару Легаси" (б)

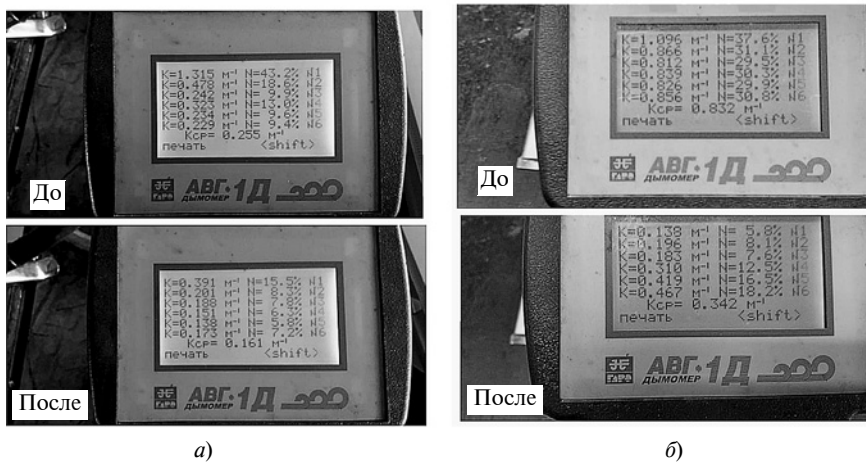


Рис. 8. Результаты замеров дымности отработавших газов дизелей автомобилей "Фольксваген Транспортер" (а) и "Киа Спортейдж" (б)

очистки деталей двигателя. Как видим, снижение содержания в отработавших газах монооксида углерода составило от 69,4 до 74,2 %, а углеводородов — от 78,2 до 84,1 %.

На рис. 8 представлены результаты замеров дымности (коэффициент поглощения, измеряемый в м^{-1}) отработавших газов дизелей грузового фургона "Фольксваген Транспортер" и внедорожника "Киа Спортейдж" с использованием газоанализатора АВГ-1Д. При замерах определялась дымность средняя по шести исследованным режимам внешней скоростной характеристики. Испытания показали, что очистка деталей двигателя "Фольксвагена" позволила снизить указанную среднюю дымность отработавших газов с 0,255 до 0,161 м^{-1} , т.е. на 36,9 %. У "Киа" дымность снизилась с 0,832 до 0,342 м^{-1} , т.е. на 58,9 %.

Таким образом, проанализированы механизмы и особенности образования нагара на деталях камеры сгорания двигателя внутреннего сгорания; проведён анализ патентов по нагарообразованию на деталях камер сгорания двигателей внутреннего сгорания; реализован эффективный способ очистки деталей двигателя внутреннего сгорания от нагара путём подачи в цилиндры двигателя водородно-воздушной смеси, генерируемой установкой "Лидер-4М"; проведены замеры мощностных показателей ряда автомобильных бензиновых двигателей и дизелей до и после проведения процедуры очистки. После прове-

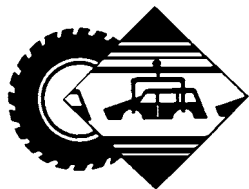
дения очистки деталей указанных двигателей от нагара максимальная мощность двигателей увеличилась на величину до 1,0 %, а максимальный крутящий момент — на величину до 1,4 %. Более значительное влияние очистки деталей двигателей от нагара с использованием установки "Лидер-4М" оказывает на показатели токсичности и дымности отработавших газов. Проведённые экспериментальные исследования в целом подтвердили эффективность очистки деталей двигателей, и особенно дизелей, от нагара с использованием данной установки и целесообразность проведения этой процедуры.

Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.
2. Роговцев В.Л., Пузанков А.Г., Ольфильд В.Д. Устройство и эксплуатация автотранспортных средств. М.: Транспорт, 2001. 431 с.
3. Шестопалов С.К. Устройство и техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей. М.: Академия, 2004. 541 с.
4. Кузьмин Н.А., Борисов Г.В. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей. Нижний Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. 270 с.
5. Охотников Б.Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. 140 с.
6. Бирюков Н.Н., Марков В.А., Поздняков Е.Ф. Установка Leader-4M для удаления нагара в двигателях внутреннего сгорания с помощью водородно-воздушной смеси // Автогазозаправочный комплекс +

- альтернативное топливо. 2019. Том 18. № 8. С. 370—381.
7. Грехов Л.В., Габитов И.И., Неговора А.В. Конструкция, расчёт и технический сервис топливоподающих систем дизелей: Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во "Легион-Автодата", 2013. 292 с.
8. Кузьмин Н.А., Зеленцов В.В., Донато И.О. Исследование отложений в автомобильных двигателях // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. № 2. С. 156—165.
9. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надёжность и долговечность автотракторных двигателей. Л.: Колос, 1981. 295 с.
10. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / К.М. Бадлыштова, Я.А. Берштадт, Ш.К. Богданов и др. Под ред. В.М. Школьникова. М.: Химия, 1989. 432 с.
11. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение. М.: Нефть и газ, 1996. 444 с.
12. Сафонов А.С., Ушаков А.И., Гришин В.В. Химмотология горюче-смазочных материалов: СПб.: НПИКЦ, 2007. 488 с.
13. Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных масел: М.: Воениздат, 1980. 192 с.
14. ГОСТ 32513—2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
15. ГОСТ 305—2013. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
16. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. 791 с.
17. Shirk M.G., McGuire T.P., Neal G., Hawthorth D.C. Investigation of a Hydrogen-Assisted Combustion System for a Light-Duty Diesel Vehicle // International Journal Hydrogen Energy. 2008. Vol. 33. Issue 23. P. 7237—7244.
18. Selvi Rajaram P., Kandasamy A., Arokiasamy Remigios P. Effectiveness of Oxygen Enriched Hydrogen-NHO Gas Addition on Direct Injection Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics // Thermal Science. 2014. Vol. 18. № 1. P. 259—268.
19. Нгуен Тхин Куинь. Применение газа ННО для питания дизелей // Материалы докладов Международной научно-технической конференции "8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса" (31 января 2019 года). М.: МАДИ, 2019.
20. Szwaja S., Rogalinski K.G. Hydrogen Combustion in a Compression Ignition Diesel Engine // International Journal Hydrogen Energy. 2009. Vol. 34. Issue 10. P. 4413—4421.
21. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
22. Chen K.-Yu. Decarbonization Device (Устройство декарбонизации): Патент США № 20120167930. Опубл. 05.07.2012 (приоритет 31.12.2010).
23. Low Y.L. System and Method for Hydrogen Based Engine Decarbonization (Система и метод очистки деталей двигателя от нагара): Европейский патент EP 3066315. Опубл. 14.05.2015 (приоритет 05.11.2013).
24. Turgeon L.J., Van Tiggelen D. Apparatus and Method for Preventing and Removing Carbon

- Deposits (Устройство и способ предотвращения и удаления отложений углерода): Патент США № 20160047284. Оpubл. 18.02.2016 (приоритет 12.08.2014).
25. Tsai Yu.-C., Sung L.-Yu., Chang Ju.-K., Chen L.-C., Wang J.-K. Hydrogen Carbon Cleaning Method for Vehicle (Метод водородной очистки от углерода для автомобиля): Европейский патент EP 3187460. Оpubл. 05.07.2017 (приоритет 30.12.2015).
26. Технический паспорт "Установка для удаления окалины в двигателях внутреннего сгорания. Leader-4M. ТУ 28.29.12-002-51033879—2018". М.: ООО "ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ", 2018. 29 с.
27. Технические условия "Установка для удаления окалины в двигателях внутреннего сгорания. Leader-4M. ТУ 28.29.12-002-51033879—2018". М.: ООО "ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ", 2018. 21 с.



ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 629.36.023.1-597.5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА АВТОПОЕЗДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА

Канд. техн. наук **МАЛИНОВСКИЙ М.П., СМОЛКО Е.С.**
МАДИ (ntbmadi@gmail.com)

Проведён эволюционный анализ конструкций электропневматического тормозного привода, в результате которого выделены три его поколения. Разработана методика для оценки тормозной эффективности автопоезда, оснащённого пневматическим и электропневматическим тормозным приводом двух поколений. Методика включает два основных раздела, первый из которых заключается в расчёте быстродействия привода на основе диаграммы функций давления, применяемой в пневмоавтоматике, а второй состоит в определении тормозного пути с применением итерационного метода.

Ключевые слова: тормозная эффективность; пневматическая тормозная система; время срабатывания; тормозной путь; итерационный метод; диаграмма функций давления.

Malinovsky M.P., Smolko E.S.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE ELECTRIC-PNEUMATIC BRAKE DRIVE OF AN ARTICULATED VEHICLE APPLYING THE ITERATIVE METHOD

The authors of the article carried out an evolutionary analysis of the designs of the electro-pneumatic brake drive, as a result of which its three generations are distinguished. A technique has been developed for evaluating the braking efficiency of a road train equipped with two generations of pneumatic and electro-pneumatic brake drive. The technique includes two main sections, the first of which consists in calculating the speed of the drive based on the pressure function diagram used in pneumatic automation, and the second consists in determining the stopping distance using the iterative method.

Keywords: braking efficiency; pneumatic braking system; trigger time; braking distance; iterative method; diagram of the pressure functions.

Основным достоинством пневматического тормозного привода (ПП) по сравнению с гидравлическим является сохранение работоспособности при наличии утечек, в том числе в соединении между тягачом и прицепным звеном. Однако пневматический привод обладает рядом недостатков. В частности, такими, как большие габариты исполнительных механизмов и ограниченное тормозное усилие ввиду относительно невысокого рабочего

давления, структурная и функциональная сложность, принципиальная невозможность реализации сложных алгоритмов управления из-за низкой точности, а главное — недостаточное быстродействие при значительной длине автопоезда, связанное с инертностью рабочего тела [1].

Существует несколько путей для решения перечисленных проблем. Один из них — оптимизация проходных сечений трубопроводов и в управляющих аппаратах, однако его

возможности весьма ограничены, как это показано в [2]. Другой путь — это повышение рабочего давления до 1,5...2,5 МПа, но его реализация сдерживается, прежде всего, значительным нагревом сжатого воздуха, а также необходимостью установки более мощного компрессора и утолщения стенок управляющих аппаратов. Третий путь — установка усилительных клапанов и корректирующих устройств [3], однако их конструктивный недостаток заключается в ухудшении следящего действия. Наиболее перспективный способ повышения быстродействия и точности пневматического тормозного привода — замена пневматических управляющих контуров электрическими цепями, т.е. применение *электропневматического тормозного привода* (ЭПП). Авторы статьи поставили перед собой задачу оценить, насколько повышается тормозная эффективность автопоезда при замене пневматического привода тормозов на электропневматический.

Среди конструкций ЭПП можно условно выделить три поколения. Поскольку наибольший эффект от применения такого привода проявляется на длиннобазных прицепных звеньях, постольку первое поколение предполагает дооборудование традиционного двухпроводного пневмопривода прицепа следующими элементами: электронным блоком управления (ЭБУ), отсечным клапаном, датчиками давления и набором унифицированных электропневматических клапанов (ЭПК). При включении стоп-сигналов блок управления подаёт команду отсеч-

ному клапану на перекрытие управляющей магистрали, в результате чего в ней повышается давление, которое измеряется датчиком давления. В соответствии с показаниями этого датчика с помощью электропневматических клапанов производится управление давлением в тормозных камерах, в каждой из которых также установлен датчик давления, обеспечивающий обратную связь [4].

Второе поколение представляет собой полноценный электропневматический привод тормозов тягача и прицепа [5]. В 1996 г. компания "Вабо" начала серийно выпускать ЭПТП для грузовых автопоездов, который имел встроенные антиблокировочную, противобуксовочную и противооткатную функции, а с 2000 г. — функцию против опрокидывания [6]. Двухсекционный тормозной кран дополнен датчиками перемещения штока, клапан управления тормозами прицепа — пропорциональным электромагнитным клапаном. Кроме традиционных аппаратов, присущих традиционному пневмоприводу, в состав ЭПТП второго поколения входят ускорительный пропорциональный клапан, разобщающий клапан резервного контура, а также датчики давления и модуляторы антиблокировочной системы. По мере развития ЭПТП, производится совершенствование его конструкции, например, регулярно оптимизируется число пневматических соединений, а с 2004 г. тормозной кран, блок управления и ускорительный пропорциональный клапан объединены в единый центральный тормозной блок. Однако данные модификации принципиально не изменяют основные функциональные возможности электропневматического привода.

Третье поколение ЭПТП, согласно п. 5.1.3 Правил ООН № 13, предусматривает наличие одной пневматической питающей магистрали и одной электрической управляющей магистрали между тягачом и прицепом. Однако данное соединение не допускается применять до принятия единообразных международных требований, обеспечивающих его совместимость и безопасность. Требования к ЭПТП приводятся также

в Приложениях 14, 17, 18 Правил ООН № 13.

Для оценки тормозной эффективности используют два основных параметра — время срабатывания $t_{ср}$ и тормозной путь $s_{т}$. Время быстрого действия определяется по тормозной диаграмме, представляющей собой график зависимости замедления, тормозного давления или удельной тормозной силы от времени. При проведении расчёта тормозного пути время реакции водителя не учитывается, и начало координат тормозной диаграммы совпадает с началом перемещения педали. Для определения тормозного пути существенное значение имеют три фазы тормозной диаграммы — время t_3 запаздывания тормозной системы (от начала перемещения педали до возникновения замедления), время t_n нарастания тормозной силы от нуля до максимального установившегося значения, и время t_y торможения с установившимся замедлением, начиная от момента, когда тормозные силы на всех осях достигнут максимального значения [7].

Схемы для расчёта быстродействия ПТП и ЭПТП двух поколений представлены на рис. 1. Сравнительный расчёт проводился на примере автопоезда в составе тягача КамаЗ-4310 и прицепа СЗАП-83053. Исходными данными для расчёта являются: $L_{шл} = 105$ см — длина соединительного шланга; $L_1 = 167$ см, $L_2 = 233$ см, $L_3 = 64$ см, $L_4 = 498$ см — длина тормозных трубопроводов тягача и прицепа; $L_{КУ} = 299$ см — расстояние от тормозного крана до клапана управления тормозами прицепа (КУТП); $L_{УМ} = 339$ см — длина управляющей магистрали; $k_1 = k_3 = 2$ — число тормозных камер на передних осях тягача и прицепа; $k_2 = k_4 = 4$ — число тормозных камер на задних тележках тягача и прицепа; $V_{КУ} = V_{вр} = 205$ см³ — объём рабочей полости КУТП и воздухораспределителя соответственно; $d_T = 1,3$ см — диаметр трубопроводов управляющих контуров, следовательно, площадь сечения входных отверстий и трубопроводов $f_{вх} = f_T = 1,327$ см².

Все оси автопоезда оснащены тормозными камерами типа 24". Соответственно, объём тормозной камеры каждой оси $V_K = 1037$ см³,

рабочая площадь диафрагмы $S_d = 15 484$ мм².

Согласно исследованиям [8], скорость педали на свободном ходе составляет 0,9...1,4 м/с. Ход педали тормоза у КамаЗа составляет не менее 0,1...0,13 м, из них 0,02...0,03 м — свободный ход. Таким образом, время выбора люфтов нижней и верхней секций тормозного крана можно принять: $t_{л1} = 0,093$ с, $t_{л2} = 0,057$ с.

Порядок расчёта быстродействия — следующий.

1. Для каждого трубопровода длиной l определяется коэффициент расхода μ_l по формуле 1 (табл. 1). Полученные значения μ_l приведены в табл. 2.

2. Считается, что соприкосновение фрикционных поверхностей в тормозных механизмах происходит при давлении, равном 10 % от максимального рабочего давления p_m [10], а нормативным значением согласно Правилам ООН № 13 является 75 % от p_m . Соответственно, расчёт времени срабатывания каждой оси производится для трёх значений: $0,1p_m = 0,065$ МПа, $0,75p_m = 0,4875$ МПа и $p_m = 0,65$ МПа. По выражению 2 определяется отношение каждого расчётного значения давления к максимальному давлению в системе $p_m = 0,065$ МПа. При начальном давлении $\varepsilon_0 = 0,133$.

3. Далее по диаграмме (рис. 2) или по таблице, которая приводится в работе [9], находят значения функций давления ψ_2 и ψ_1 для каждого ε , после чего по формулам 3 и 4 определяются значения укрупнённых коэффициентов Ψ_2 и Ψ_1 .

4. Время срабатывания механизмов тормозного привода определяется по общей формуле 6, в которую вместо l , λ , k и v подставляются соответствующие значения, приведенные в табл. 2. По указанной формуле рассчитываются: для ПТП — время наполнения переднего $t_{к1}$ и заднего $t_{к2}$ контуров тягача, время срабатывания КУТП $t_{КУ}$ и воздухораспределителя $t_{вр}$, время наполнения переднего $t_{к3}$ и заднего $t_{к4}$ контуров прицепа; для ЭПТП первого поколения — время наполнения управляющей магистрали $t_{ко}$ при её перекрытии отсечным клапаном, время наполнения переднего $t_{с3}$ и заднего $t_{с4}$ контуров прицепа; для

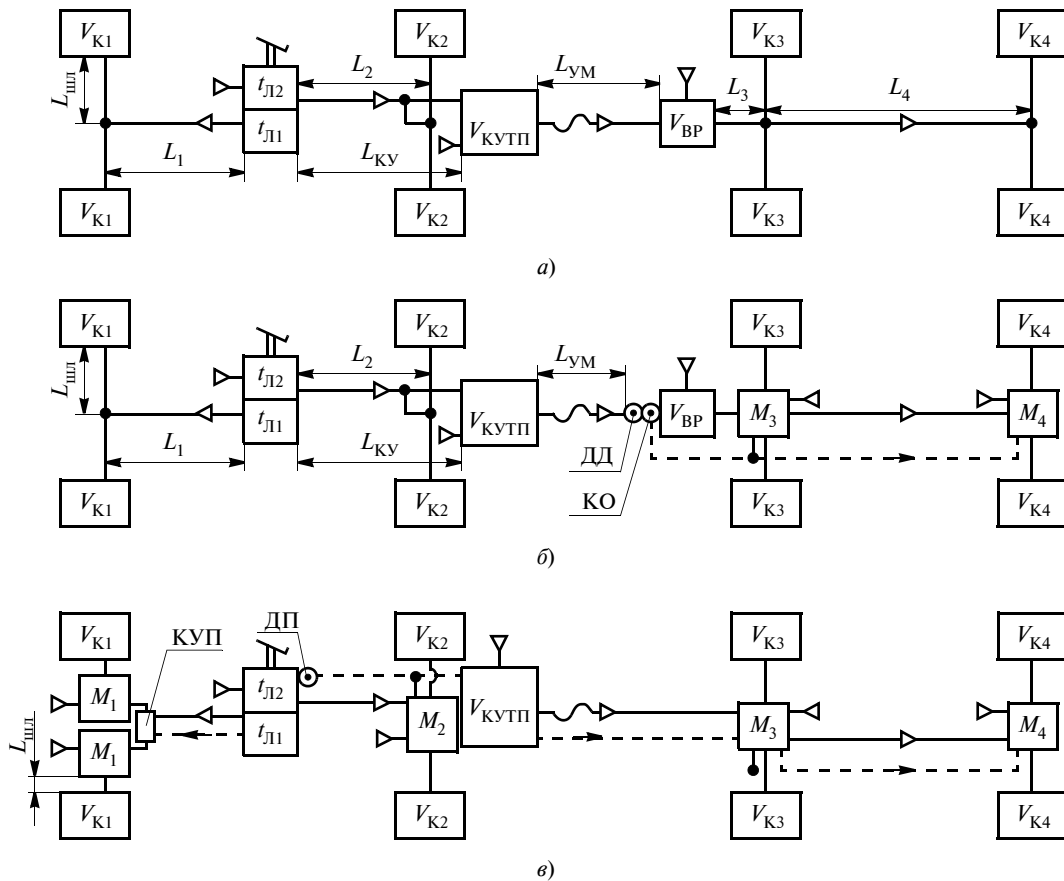


Рис. 1. Расчётная схема тормозного привода автопоезда:

а — ПТП; б — ЭПТП первого поколения; в — ЭПТП второго поколения; ДД — датчик давления; КО — отсечный клапан; ДП — датчик перемещения штока тормозного крана; КУП — ускорительный пропорциональный клапан; М — модулятор давления

ЭПТП второго поколения — время наполнения любого контура $t_{кз}$.

5. Время срабатывания каждой оси автопоезда при действии ПТП находится по формулам 6–9. Время срабатывания контура ЭПТП включает только перепускание воздуха из модулятора в тормозные камеры по шлангу длиной $L_{шл}$. Время срабатывания электропневматических клапанов в модуляторах $t_{ЭПК} = 0,012$ с. При действии ЭПТП первого поколения тягач рассчитывается аналогично ПТП ($t_{1э1} = t_{1п}$, $t_{2э1} = t_{2п}$), а время срабатывания контуров прицепа рассчитывается по формулам 10–11. При работе ЭПТП второго поколения время срабатывания каждой оси автопоезда включает только люфт в тормозном кране, срабатывание ЭПК и перепускание воздуха из модуляторов в тормозные камеры. С учётом конфигурации АБС по схеме 4S/3M, обычно применяемой на грузовых тягачах и прицепах, при расчёте ЭПТП второго поколения можно принять $\kappa = 2$. Соответственно, для передней оси

тягача время срабатывания находится по формуле 12, для всех остальных осей автопоезда — по формуле 13.

6. Как показали исследования [11], зависимость рабочего давления от времени, которая для ПТП имеет

достаточно сложный характер, можно аппроксимировать без значительного увеличения погрешности результатов в виде двух отрезков — от $0,1p_m$ до $0,75p_m$ и от $0,75p_m$ до p_m . Для каждой оси по формуле 14 находится скорость нарастания тормозного давления на каждом из этих двух отрезков. Время срабатывания и скорость нарастания давления для осей автопоезда в зависимости от типа привода приведены в табл. 3.

Задача по определению тормозного пути решается итерационным методом с шагом дифференцирования $\tau_i = 0,01$ с. Фаза τ_3 считается от 0 до $t(0,1p_m)$, фаза τ_H — от $t(0,1p_m)$ до $t(p_m)$. На каждом шаге дифференцирования необходимо рассчитать нижеперечисленные параметры.

1. Для каждой оси на фазах τ_H и τ_y рассчитывается текущее значение давления по формуле 15.

2. Тормозная сила на оси определяется по формуле 16. При этом передаточный коэффициент тормозного механизма для КамАЗа можно принять $K_{TM} = 1,76725$.

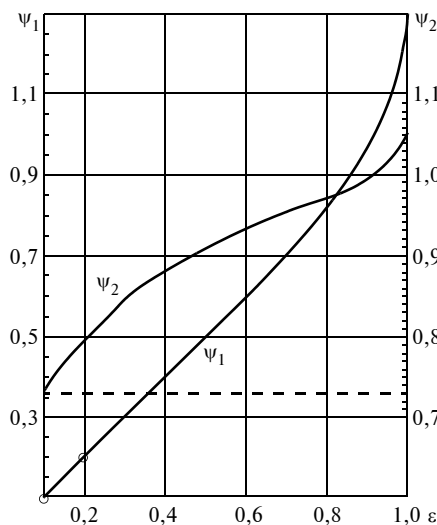


Рис. 2. Диаграмма функций давления

| № | Формула | Примечания |
|----|---|---|
| 1 | $\mu = \sqrt{\frac{1,567}{2,853 + 0,028 \frac{l + \lambda}{1,3}}}$ | μ — коэффициент расхода; l — длина трубопровода до разветвления, см; λ — длина трубопровода после разветвления, см |
| 2 | $\varepsilon_k = \frac{p_a + p_k}{p_a + p_m} = \frac{0,1 + p_k}{0,75}$ | p_a — атмосферное давление, МПа; p_k — текущее давление, МПа; p_m — максимальное давление, МПа |
| 3 | $\psi_2 = \frac{2,53 \cdot [\psi_2(\varepsilon_k) - 0,756]}{\psi_2(\varepsilon_k)}$ | ψ_2 — функция давления |
| 4 | $\Psi_1 = 3,62 \cdot [\Psi_1(\varepsilon_k) - 0,133]$ | Ψ_1 — функция давления |
| 5 | $t_{cp} = \frac{\Psi_2 \cdot l + \lambda}{10^4 \mu} + \frac{\Psi_1}{10^5 f_{вх}} \cdot \frac{l f_T + \kappa(\lambda f_T + v)}{\mu}$ | κ — число рукавов после разветвления; v — рабочий объём, см ³ ; $f_{вх}$ — площадь входного отверстия, см ² ; f_T — площадь трубопровода, см ² |
| 6 | $t_{1п} = t_{л1} + t_{к1}$ | $t_{л1}$ — время люфта нижней секции тормозного крана; $t_{к1}$ — время наполнения переднего контура тягача |
| 7 | $t_{2п} = t_{л2} + t_{к2}$ | $t_{л2}$ — время люфта верхней секции тормозного крана; $t_{к2}$ — время наполнения заднего контура тягача |
| 8 | $t_{3п} = t_{л2} + t_{кy} + t_{вp} + t_{к3}$ | $t_{кy}$ — время срабатывания КУТП; $t_{вp}$ — время срабатывания воздухораспределителя; $t_{к3}$ — время наполнения переднего контура прицепа |
| 9 | $t_{4п} = t_{л2} + t_{кy} + t_{вp} + t_{к4}$ | $t_{к4}$ — время наполнения заднего контура прицепа |
| 10 | $t_{3э1} = t_{л2} + t_{кy} + t_{кo} + t_{эпк} + t_{э3}$ | $t_{кo}$ — время наполнения управляющей магистрали при её перекрытии отсечным клапаном; $t_{эпк}$ — время срабатывания ЭПК; $t_{э3}$ — время наполнения переднего контура прицепа при действии ЭПТП ₁ |
| 11 | $t_{4э1} = t_{л2} + t_{кy} + t_{кo} + t_{эпк} + t_{э4}$ | $t_{э4}$ — время наполнения заднего контура прицепа при действии ЭПТП ₁ |
| 12 | $t_{1э2} = t_{л1} + t_{эпк} + t_{кэ}$ | $t_{кэ}$ — время наполнения контура при действии ЭПТП ₂ |
| 13 | $t_{2э2} = t_{3э2} = t_{4э2} = t_{л2} + t_{эпк} + t_{кэ}$ | — |
| 14 | $p'_j = \frac{p_k - p_n}{t_j(p_k) - t_j(p_n)}$ | p' — скорость нарастания давления, МПа/с; p_k — давление в конце отрезка, МПа; p_n — давление в начале отрезка, МПа |
| 15 | $p_{ij} = p_{j(i-1)} + p'_j \tau_i$ | τ_i — шаг дифференцирования, с |
| 16 | $P_{тji} = k_j K_{тм} S_d (p_{ji} - 0,065)$ | k_j — число тормозных камер на j -й оси (тележке); $K_{тм}$ — передаточный коэффициент тормозного механизма; S_d — рабочая площадь диафрагмы тормозной камеры, мм ² ; p_{ji} — текущее давление, МПа |
| 17 | $P_{кpi} = (m_n - m_t) d_{i-1} - P_{т1i} - P_{т2i} + P_{т3i} + P_{т4i}$ | m_t, m_n — полная масса тягача и прицепа соответственно, кг; d_{i-1} — замедление автопоезда, достигнутое на предыдущей итерации, м/с ² |
| 18 | $N_{4i} = \frac{m_n g l_n - m_n d_{i-1} h_n + P_{кpi} h_{кр}}{L_n}$ | $g = 9,81$ м/с ² — ускорение свободного падения; l_n — расстояние от передней оси до центра масс прицепа, м; h_n — высота центра масса прицепа, м; $h_{кр}$ — высота тягово-сцепного устройства, м; L_n — колёсная база прицепа, м |
| 19 | $N_{3i} = \frac{m_n g (L_n - l_n) + m_n d_{i-1} h_n - P_{кpi} h_{кр}}{L_n}$ | — |
| 20 | $N_{2i} = \frac{m_t g l_t - m_t d_{i-1} h_t + P_{кpi} h_{кр}}{L_t}$ | l_t — расстояние от передней оси до центра масс тягача, м; h_t — высота центра масса тягача, м; L_t — колёсная база тягача, м |
| 21 | $N_{1i} = \frac{m_t g (L_t - l_t) + m_t d_{i-1} h_t - P_{кpi} h_{кр}}{L_t}$ | — |
| 22 | $\Phi_{ji} = N_{ji} \varphi$ | φ — коэффициент сцепления |
| 23 | $d_i = \frac{P_{\Phi 1i} + P_{\Phi 2i} + P_{\Phi 3i} + P_{\Phi 4i}}{m_t + m_n}$ | $P_{\Phi ji}$ — фактическая тормозная сила на оси, Н |
| 24 | $d_{ji} = \frac{P_{\Phi ji}}{m_t + m_n}$ | — |
| 25 | $j_{ji} = \frac{d_i - d_{i-1}}{\tau_i}$ | — |

| № | Формула | Примечания |
|----|--|------------|
| 26 | $v_i = v_{i-1} - \tau_i d_{i-1} - \frac{\tau_i^2}{2} \Sigma j_{ji}$ | — |
| 27 | $s_i = \tau_i v_{i-1} - \frac{\tau_i^2}{2} d_{i-1} - \frac{\tau_i^2}{6} \Sigma j_{ji}$ | — |
| 28 | $s_T = \Sigma s_i$ | — |

Таблица 2

| l | λ | $l + \lambda$, см | μ | κ | v , см ³ | t_{cp} |
|-------------|-----------|--------------------|-------|-----------|-----------------------|----------|
| L_1 | $L_{шл}$ | 272 | 0,424 | $k_1 = 2$ | $V_k = 1037$ | t_{k1} |
| L_2 | $L_{шл}$ | 338 | 0,393 | $k_2 = 4$ | $V_k = 1037$ | t_{k2} |
| $L_{ку}$ | — | 299 | 0,411 | 1 | $V_{ку} = 205$ | $t_{ку}$ |
| $L_{ум}$ | — | 339 | 0,393 | 1 | $V_{вр} = 205$ | $t_{вр}$ |
| L_3 | $L_{шл}$ | 169 | 0,491 | $k_3 = 2$ | $V_k = 1037$ | t_{k3} |
| $L_3 + L_4$ | $L_{шл}$ | 667 | 0,302 | $k_4 = 4$ | $V_k = 1037$ | t_{k4} |
| $L_{ум}$ | — | 339 | 0,393 | — | — | $t_{ко}$ |
| — | $L_{шл}$ | 105 | 0,554 | $k_3 = 2$ | $V_k = 1037$ | $t_{э3}$ |
| — | $L_{шл}$ | 105 | 0,554 | $k_4 = 4$ | $V_k = 1037$ | $t_{э4}$ |
| — | $L_{шл}$ | 105 | 0,554 | 2 | $V_k = 1037$ | $t_{кэ}$ |

Таблица 3

| Привод | Ось | $t(0,1p_m)$, с | p' , МПа/с | $t(0,75p_m)$, с | p' , МПа/с | $t(p_m)$, с |
|---------------------------|-------|-----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
| ПТП, ЭПТП ₁ | 1 | 0,12 | 3,521 | 0,24 | 1,806 | 0,33 |
| | 2 | 0,10 | 1,837 | 0,33 | 0,855 | 0,52 |
| ПТП | 3 | 0,11 | 2,113 | 0,31 | 1,161 | 0,45 |
| | 4 | 0,17 | 0,880 | 0,65 | 0,464 | 1,00 |
| ЭПТП ₁ | 3 | 0,11 | 2,347 | 0,29 | 1,354 | 0,41 |
| | 4 | 0,12 | 1,690 | 0,37 | 0,903 | 0,55 |
| ЭПТП ₂ | 1 | 0,12 | 6,036 | 0,19 | 2,708 | 0,25 |
| | 2,3,4 | 0,08 | 5,281 | 0,16 | 2,708 | 0,22 |

Таблица 4

| ϕ | v_0 , км/ч | ПТП | | ЭПТП ₁ | | ЭПТП ₂ | |
|--------|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | s_T , м | $t(v=0)$, с | s_T , м | $t(v=0)$, с | s_T , м | $t(v=0)$, с |
| 0,8 | 72 | 44,00 | 4,11 | 42,94 | 4,05 | 40,78 | 3,94 |
| | 54 | 25,86 | 3,16 | 25,07 | 3,10 | 23,46 | 2,99 |
| | 36 | 12,47 | 2,21 | 11,96 | 2,15 | 10,89 | 2,04 |
| | 18 | 3,83 | 1,26 | 3,59 | 1,20 | 3,07 | 1,09 |
| 0,7 | 72 | 46,38 | 4,36 | 45,36 | 4,31 | 43,36 | 4,21 |
| | 54 | 27,15 | 3,34 | 26,39 | 3,29 | 24,90 | 3,19 |
| | 36 | 13,00 | 2,33 | 12,51 | 2,27 | 11,52 | 2,17 |
| | 18 | 3,93 | 1,31 | 3,70 | 1,26 | 3,22 | 1,16 |
| 0,6 | 72 | 49,38 | 4,67 | 48,40 | 4,62 | 46,56 | 4,53 |
| | 54 | 28,79 | 3,57 | 28,06 | 3,52 | 26,69 | 3,43 |
| | 36 | 13,69 | 2,48 | 13,22 | 2,43 | 12,30 | 2,33 |
| | 18 | 4,08 | 1,38 | 3,86 | 1,33 | 3,41 | 1,24 |

3. Для расчёта результирующей силы в тягово-сцепном устройстве $P_{кр}$ необходимо решить уравнение силового баланса 17, а чтобы определить нормальные реакции на осях автопоезда, необходимо решить систему уравнений 18–21 моментов относительно точек опоры. Вектор силы $P_{кр}$ направлен от тягача к сцепному звену, так как в этом случае снижается вероятность складывания автопоезда при торможении. Учитывая, что сила инерции является откликом на тормозную силу, при расчёте $P_{кpi}$ и N_{ji} можно взять фактическое замедление автопоезда $d_{A(i-1)}$ с предыдущей итерации без значимого увеличения погрешности.

Массово-геометрические параметры автопоезда: $m_T = 15205$ кг, $m_{п} = 18\ 000$ кг — полная масса тягача и прицепа соответственно; $L_T = 4$ м, $L_{п} = 4,982$ м — колёсная база тягача и прицепа; $l_T = 2,679$ м, $l_{п} = 2,491$ м — расстояние от передней оси до центра масс; $h_T = 1,16$ м, $h_{п} = 1,72$ м — высота центра масса тягача и прицепа; $h_{кр} = 0,96$ м — высота тягово-сцепного устройства.

4. Для каждой оси по формуле 22 определяется максимальная сила, реализуемая по условиям сцепления колёс с дорогой. Коэффициент сцепления $\phi = 0,6$, исходя из требований к испытаниям по Правилам ООН № 13.

5. Значения P_{tji} и Φ_{ji} сравниваются между собой. Как известно, тормозные силы при юзе колёс ограничены силами сцепления с дорогой [12], поэтому фактическая тормозная сила на оси $P_{фji} = \min(P_{tji}, \Phi_{ji})$.

6. По формуле 23 рассчитывается общее фактическое замедление автопоезда, а по формуле 24 — частное замедление, создаваемое каждой осью в отдельности. Также по формуле 25 определяется ускоряемость

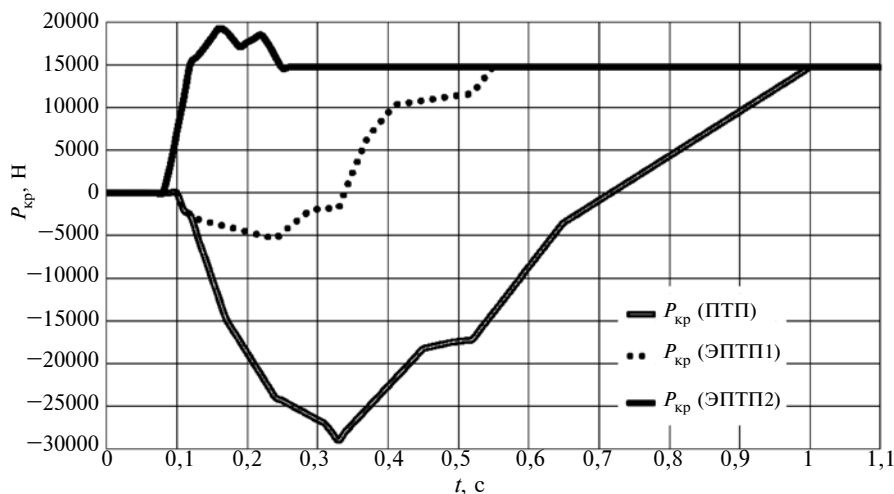


Рис. 3. Зависимость силы на крюке от типа тормозного привода

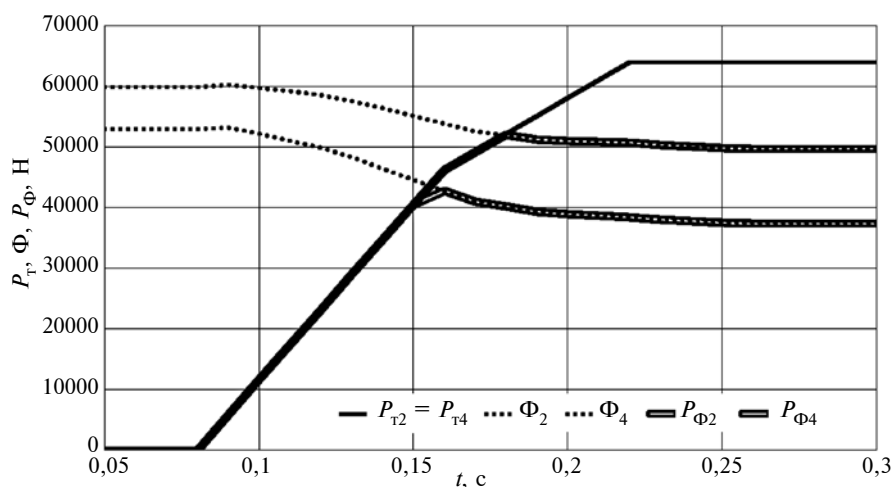


Рис. 4. Уменьшение фактической тормозной силы в результате перераспределения силы тяжести с учётом взаимного влияния звеньев автопоезда

(т.е. приращение замедления) на данном шаге дифференцирования.

7. По формулам 26 и 27 рассчитываются соответственно достигнувшая скорость и пройденный путь за данный шаг дифференцирования, а по формуле 28 — суммарный тормозной путь.

Зависимость тормозного пути от начальной скорости v_0 и коэффициента сцепления ϕ приведена в табл. 4.

Как видим, применение электропневматического тормозного привода первого поколения вместо пневматического приводит к уменьшению тормозного пути более чем на 1 м, а ЭПТП второго поколения — более чем на 3 м при торможении с начальной скорости $v_0 = 72$ км/ч. С понижением коэффициента сцепления ϕ данный эффект проявляется в меньшей степени. Кроме того,

применение ЭПТП второго поколения существенно повышает устойчивость движения автопоезда, так как $P_{кр}$ всегда направлена от тягача к прицепу (рис. 3), что способствует растягиванию звеньев и предотвращает складывание.

Учёт силы на крюке и перераспределения силы тяжести при торможении позволили выявить любопытный феномен: тормозные силы на тягаче $P_{т1}$ и $P_{т2}$ достигли максимума, однако суммарное замедление автопоезда d снижается, так как тормозная сила $P_{т4}$ на задней тележке прицепа продолжает увеличиваться, сила на крюке $P_{кр}$ изменяется, и предел по сцеплению Φ_2 на задней тележке тягача снижается, в результате чего уменьшается фактическая тормозная сила $P_{\Phi 2}$ (рис. 4).

Таким образом, расчёты тормозного пути, проведённые по предло-

женной авторами методике, подтверждают эффективность замены традиционного пневматического тормозного привода на электропневматический.

Литература

1. Малиновский М.П. Системы управления колёсных машин: учебное пособие / М.П. Малиновский. — Москва: МАДИ, 2018. — 100 с. — ISBN 978-5-7962-0234-0.
2. Малиновский М.П. Расчёт быстродействия пневматического тормозного привода на колёсных транспортных средствах специального назначения / М.П. Малиновский, В.Д. Ролдугин, Н.А. Кулешова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2016. — № 4 (47). — С. 68—74.
3. Метлюк Н.Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. — Москва: Машиностроение, 1980. — 231 с.
4. Автомобили. Конструкция, проектирование и расчёт. Системы управления и ходовая часть: Учебное пособие для вузов / А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко, Ю.Ю. Беленький; под ред. А.И. Гришкевича. — Минск: Вышэйшая школа, 1987. — 199 с.
5. Гуревич Л.В. Перспективный тормозной привод / Л.В. Гуревич // Автомобильная промышленность. — 1985. — № 2. — С. 22—24.
6. Малиновский М.П. Эволюция систем управления АТС / М.П. Малиновский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2014. — Вып. 4 (39). — С. 22—31.
7. Малиновский М.П. Применение итерационного метода при расчёте тормозных свойств седельного автопоезда с учётом перераспределения вертикальных реакций / М.П. Малиновский, Е.С. Смолко // Труды НАМИ. — 2020. — № 1 (280). — С. 36—47.
8. А. с. 678358 СССР, G01L 5/22. Способ определения времени срабатывания тормозного механизма / Е.П. Воронов, А.А. Филимонов; Научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. — № 2444669/18-10; заявл. 19.01.77; опубл. 05.08.79, Бюл. № 29. — 2 с.
9. Смолко Е.С. Расчёт времени до блокирования колёс автопоезда с учётом продольной реакции в сцепном устройстве / Е.С. Смолко // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2019. — № 4. — С. 13.
10. Малиновский М.П. Уточнения к интегральному методу расчёта тормозных параметров автопоезда / М.П. Малиновский, Е.С. Смолко // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2019. — Вып. 4 (59). — С. 56—63.
11. Малиновский М.П. Проблема аппроксимации при расчёте пневматического тормозного привода интегральным методом / М.П. Малиновский, Е.С. Смолко // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2020. — № 2. — С. 33—38.
12. Павлов В.В. Проектировочные расчёты транспортных средств специального назначения (ТССН): Учебное пособие / В.В. Павлов. — Москва: МАДИ, 2014. — 116 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРЕСТОВИНЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА

ДУБОВИК Е.А.

Донской ГТУ (dubovik1982@list.ru)

Рассматривается технология восстановления детали "крестовина" дифференциала автомобиля ГАЗ-3307.

Ключевые слова: автомобиль, вибродуговая наплавка, восстановление, крестовина дифференциала.

Dubovik E.A.

RESTORE THE DETAILS OF THE "CROSS" OF AUTOMOTIVE DIFFERENTIAL

The technology of restoration of a detail "crosspiece" of a differential of the car is considered.

Keywords: car, vibration arc surfacing, restoration, differential cross.

Крестовина дифференциала — элемент достаточно надёжный и долговечный, однако при больших пробегах автомобиля, особенно в сложных дорожных условиях, подвержена износу и требует замены либо восстановления.

В автомобиле ГАЗ-3307 данная деталь (рис. 1) изготовлена из легированной стали 40Х ГОСТ 4543—71 (углерода до 0,40 %, хрома до 1 %), которая после термообработки обладает высокой твёрдостью и коррозионной стойкостью. В узле крестовина находится в сопряжении с сателлитами, каждый из которых создаёт в ней определённые сложные знакопеременные нагрузки: кручение, изгиб, деформации растяжения. Деталь симметрична относительно оси вращения; имеет цилиндрические наружные поверхности и торцы, удобные для базирования. Габаритные размеры: длина — 75 мм, высота — 75 мм, ширина — 21 мм, диаметр шипа — 28 мм. Масса — 0,75 кг.

Крестовина дифференциала в основном имеет износ и задиры на поверхности шипов, устраняемые шлифованием под ремонтные размеры, наплавкой, хромированием или осталиванием. Перед выполнением ремонта необходимо убедиться в отсутствии усталостных трещин на галтелях шейки и в других местах крестовины на магнитном дефектоскопе или другом приборе. Ремонту подлежат только проверенные детали без трещин.

Крестовины с ремонтными размерами шипов устанавливают в чашки дифференциала, в которых отверстия также имеют ремонтный размер, либо вновь про-



Рис. 1. Крестовина дифференциала автомобиля ГАЗ-3307

сверлены между старыми отверстиями. Хромирование целесообразно применять при небольших износах шипов, а при значительных износах — осталивание и вибродуговую наплавку. После восстановления шипы шлифуют под номинальный размер.

К крестовине предъявляются следующие технические условия.

1. Твёрдость материала не ниже НВ 241—285.
2. Необходимо проверить и исправить центровочные отверстия.
3. Четыре шейки должны быть обработаны с одной установки, для соблюдения соосности.
4. Выдержать радиус закругления шеек у фланца $R = 6$ мм и биение посадочных шеек под подшипник не более 0,025 мм.
5. Оба отверстия в поворотной цапфе под втулки шкворня должны быть обработаны в линию, отклонения допускаются на более 0,03 мм.
6. Втулки должны быть запрессованы с натягом 0,100—0,175 мм.
6. Контрольный палец должен проходить через оба отверстия одновременно без застревания.
7. При проверки конусный калибр 1:8 не должен иметь ощутимого люфта, не более 0,025 мм.
8. При проверке на краску поверхность прилегания должна быть не менее 75 %.

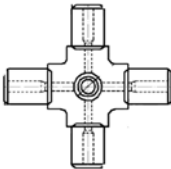
Каждый из способов восстановления оценивают по *технологическому критерию*, определяя принципиальную возможность его применения для данной детали. Выбранный способ восстановления должен удовлетворять двум условиям: полностью устранять имеющиеся дефекты и по своим особенностям быть приемлемым для данной детали. Выбранный по технологическому критерию способ оценивается затем по *техническому критерию*.

Для каждого выбранного способа дают комплексную оценку по значению коэффициента долговечности K_d , который определяется по формуле: $K_d = K_f K_B K_C K_{\Pi}$, где K_f , K_B , K_C — соответственно коэффициенты износоустойчивости, выносливости и сцепляемости покрытий; K_{Π} — поправочный коэффициент, учитывающий фактическую работоспособность восстановленной детали. Рациональным по этому критерию будет способ, у которого K_d максимален. Выбрав один из способов, окончательное решение по способу восстановления принимают по технико-экономическому критерию.

Технико-экономический критерий, связывающий себестоимость восстановления детали с её долговечностью, определяют по формуле: $C_B \leq K_d C_H$, где C_B — стоимость восстановления детали; C_H — стоимость новой детали. Если стоимость новой детали неизвестна, критерий оценивают по формуле: $K_T = C_B / K_d$. Эффективным будет тот способ, у которого K_T наименьший.

В табл. 1 представлена карта дефектации детали "крестовина" дифференциала грузового автомобиля ГАЗ-3307, а в табл. 2 — принципиальная последовательность процесса её восстановления.

В настоящее время на ряде ремонтных предприятий крестовины дифференциалов восстанавливают вибродуговой наплавкой в среде углекислого газа с использованием наплавочных проволок Нп-65Г, Нп-30ХГСА.

| | | | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Эскиз детали  | | Деталь | крестовина дифференциала | | |
| | | № детали | 53-2403060 | | |
| | | Материал | 40Х ГОСТ 4543—71 | | |
| | | Твёрдость | не ниже НВ 241—285 | | |
| № п/п | Возможные дефекты | Контрольный инструмент | Размер, мм | | Способы восстановления; заключение |
| | | | По рабочему чертежу | Допустимый без ремонта | |
| 1 | Износ шипов под сателлиты | Микрометр | 28,99 | 27,95 | Хромирование и шлифование под номинальный размер при малом износе; вибродуговая наплавка при большом износе |
| 2 | Усталостные трещины на галтелях шипов | Магнитный дефектоскоп или др. приборы | — | — | Утилизировать |

Это один из наиболее распространённых способов восстановления различных деталей на ремонтных предприятиях, что обусловлено рядом его особенностей: высокой производительностью (до 2,6 кг/ч); незначительным нагревом детали (до 100 °С); отсутствием существенных структурных изменений поверхности детали (зоны термического влияния при наплавке незакалённых деталей 0,6...1,5 мм и закалённых 1,8...4,0 мм), что позволяет наплавлять детали малого диаметра (от 8 мм), не опасаясь их прожога или коробления. Принципиальная электро-кинематическая схема вибродуговой установки с электромеханическим вибратором показана на рис. 2.

Применение охлаждающей жидкости в сочетании с различными электродными материалами исключает из технологического процесса последующую термическую обработку, так как твёрдость наплавленного металла может достигать 58...60 HRC₃. Толщину последнего можно регулировать от 0,3 до 3,0 мм. При необходимости проводят многослойную наплавку. Потери электродного материала на угар и разбрызгивание не превышают 6...8 %.

Таблица 2

| Операция | Технологическое оборудование | Приспособление |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 005. Очистная и моечная | — | — |
| 010. Токарная | Токарно-винторезный станок 16К20 | Трёхкулачковый патрон, центр |
| 015. Токарная | Токарно-винторезный станок 16К20 | Трёхкулачковый патрон, центр |
| 020. Наплавочная | Установка для вибродуговой наплавки | — |
| 025. Токарная | Токарно-винторезный станок 16К20 | Трёхкулачковый патрон, центр |
| 030. Шлифовальная черновая | Круглошлифовальный станок 3М151 | Центр, поводок, специальный калибр |
| 035. Шлифовальная чистовая | Круглошлифовальный станок 3М151 | Центр, поводок, специальный калибр |
| 040. Контрольная | Стол контролера | — |

Особенность вибродуговой наплавки заключается в вибрации электрода (50...100 колебаний в секунду), что обуславливает наплавление металла при низком напряжении источника тока, относительно небольшой мощности в сварочной цепи, когда непрерывный дуговой процесс невозможен. При вибрации улучшается стабильность наплавки и расширяется диапазон её устойчивых режимов.

В момент соприкосновения электрода с деталью (период короткого замыкания) сопротивление электрической цепи источник тока—электрод—деталь приближается к нулю, что способствует падению напряжения при одновременном стремлении тока к бесконечности. Реальная мощность применяемых источников тока ограничивает это значение до 1100...1300 А. Это недопустимо для электрода малого сечения, поскольку он расплавляется и разбрызгивается под действием электродинамических сил. Для ограничения тока в период короткого замыкания в цепь последовательно включают дополнительную индуктивность (дроссель).

За счёт вибрации электрод отводится от детали, и в разрыве возникает электрическая дуга (период дугового разряда). Энергия, запасённая в индуктивности, начинает освобождаться. ЭДС самоиндукции складывается с ЭДС источника тока, в результате чего напряжение на дуговом разряде оказывается выше в два раза и более, чем на зажимах источника тока, причём, оно поддерживается, примерно, постоянным, несмотря на изменение длины дуги. В этот период выделяется 90...95 % тепловой энергии и кончик электрода оплавляется.

При достаточном удалении электрода от детали, а также израсходовании энергии, запасённой дросселем, дуга гаснет. Начинается период холостого хода. Он заканчивается тогда, когда электрод вновь касается детали и капля расплавленного металла переносится на её поверхность. Цикл многократно повторяется, и на детали формируется валик наплавленного металла.

Длительность периодов короткого замыкания и горения дуги определяется частотой вибрации электрода, напряжением холостого хода и индуктивностью цепи. С увеличением напряжения и индуктивности возрастают период горения, а следовательно, количество выделившейся теплоты и производительность

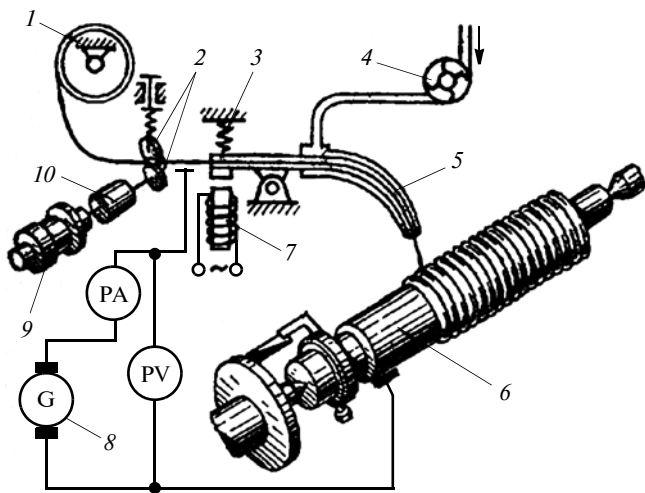


Рис. 2. Принципиальная схема вибродуговой установки:

1 — кассета с проволокой; 2 — ролики подающего механизма; 3 — якорь вибратора; 4 — насос для охлаждающей жидкости; 5 — вибрирующий мундштук; 6 — ренодеталь; 7 — катушка вибратора; 8 — генератор; 9 — электродвигатель; 10 — редуктор

процесса. Однако чрезмерное их увеличение нарушает стабильность процесса и возникают большие потери электродной проволоки. В каждом конкретном случае их следует подбирать оптимальными.

Установка для вибродуговой наплавки включает: наплавочную головку, закреплённую на суппорте токарного станка; источник питания; дополнительную индуктивность (дроссель); систему подачи охлаждающей жидкости. Наибольшее распространение получили наплавочные головки ОКС-1252А и ОКС-6569 с механическим вибратором. Для питания электрической дуги применяют сварочные преобразователи ПСГ-500, ПСЧ-500, выпрямители и низковольтный генератор АНД-500/1000.

Наплавочная головка предназначена для подачи электрода в зону горения дуги, придания ему возвратно-поступательного движения (вибрации). Частота колебаний 100...120 Гц. Наплавку проводят на постоянном токе обратной полярности. В качестве источников питания используют сварочные преобразователи и выпрямители с жёсткой внешней характеристикой.

В качестве дополнительной индуктивности служат сварочные дроссели. Сварочные и наплавочные проволоки имеют диаметр 1,2...3,0 мм, ленты — толщину 0,3...1,0 мм и ширину до 10,0 мм.

Для защиты расплавленного металла применяют углекислый газ, флюс, пар и охлаждающие жидкости (4...6 %-й раствор кальцинированной соды, 10...20 %-й раствор технического глицерина в воде или их смесь). Вода, испаряясь, вытесняет из зоны горения дуги воздух, снижая содержание азота в наплавленном металле. Кальцинированная сода, разлагаясь, с одной стороны, стабилизирует горение дуги, с другой — снижает коррозию оборудования и восстанавливаемых деталей. Глицерин уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла и, следовательно, трещинообразование при использовании высокоуглеродистых наплавочных проволок.

Толщина наплавляемого слоя определяется по формуле: $h = z + 2z_{\text{в}} + u$, где z — припуск, зависящий от способа наращивания; $2z_{\text{в}}$ — припуск на механическую обработку; u — величина износа.

Определим минимальные припуски на механическую обработку. Для поверхностей вращения двухсторонний минимальный припуск $2Z_{i \text{ min}}$ рассчитаем по

формуле: $2Z_{i \text{ min}} = 2(R_{zi} + h_i + \sqrt{\Delta i^2 + \varepsilon_{yi}^2})$, где R_z — шероховатость поверхности; h — толщина дефектного слоя поверхности; Δ — суммарное отклонение расположения и формы поверхности заготовки; ε_y — погрешность установки; i — индекс перехода. Ориентировочные значения припусков при разных видах обработки (мм, на сторону): точение черновое 0,2—2,0; чистовое 0,1—0,2 мм; шлифование черновое 0,1—0,2; чистовое 0,01—0,06; наплавка $\geq 0,6$ мм.

Наиболее распространенные режимы вибродуговой наплавки цилиндрических деталей (толщина слоя 1,0—1,2 мм) в среде CO_2 приводятся в табл. 3.

Основное время наплавки определяется по формуле: $T_{\text{в}} = \frac{L}{V_{\text{н}}} i$, где L — длина наплавки; $V_{\text{н}}$ — скорость

наплавки; i — количество слоев наплавки. При наплавке тел вращения длина наплавленного валика опреде-

ляется по формуле: $L = \frac{\pi D l}{S}$, где D — диаметр наплав-

ляемой детали; l — длина наплавляемой шейки; S — шаг наплавки. Последний рекомендуется принимать $S = (1,2—2,0)d$, где d — диаметр электродной проволоки, принимается в пределах 1—2 мм, наиболее предпочтительный $d = 1,6$ мм. Скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{пр}}$, м/ч определяются по формуле:

$$V_{\text{пр}} = \frac{0,1IU}{d_{\text{пр}}}, \text{ где } I \text{ — сила тока; } U \text{ — напряжение; } d_{\text{пр}} \text{ —}$$

диаметр проволоки. Скорость наплавки $V_{\text{н}}$, м/ч рас-

$$\text{считывается по формуле: } V_{\text{н}} = \frac{0,785 d_{\text{пр}}^2 V_{\text{пр}} \eta}{h S \alpha}, \text{ где } \eta \text{ —}$$

коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл; h — толщина наплавленного слоя (без механической обработки); S — шаг наплавки; α — коэффициент, учитывающий отклонения фактической площади сечения наплавленного слоя от площади четырехугольника с высотой h . Коэффициент перехода

Таблица 3

| Параметр | Диаметр детали, мм | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 10...20 | 20...30 | 40...50 | 90...100 |
| Сила тока, А | 70...90 | 85...110 | 110...180 | 100...300 |
| Скорость наплавки, м/ч | 40...45 | 40...45 | 30...35 | 70...80 |
| Смещение электрода, мм | 2...4 | 3...5 | 6...10 | 8...10 |
| Шаг наплавки, мм/оборот | 2,5...3,0 | 2,8...3,2 | 3,0...3,5 | 5,0...7,0 |
| Вылет электрода, мм | 7...10 | 8...11 | 10...15 | 20...27 |

K_{Π} электродного металла в наплавленный определяет-ся по формуле: $K_{\Pi} = 1 - \psi/100$, где ψ — коэффициент потерь электродного металла. При выборе скорости наплавки следует иметь ввиду, что между скоростью подачи электродной проволоки и скоростью наплавки должно быть выдержано соотношение $V_{эл}/V_{н}$, равное 1,5–2,5.

Амплитуда вибрации λ , мм, конца электродной проволоки рассчитывается по формуле: $\lambda = 0,7d_{эл}$, где $d_{эл}$ — диаметр электродной проволоки. Частоту вращения n , мин^{-1} , детали находим по формуле: $n = \frac{1000 V_{н}}{\pi D}$, где D — плотность тока.

Определяем массу расплавленного металла $G_{рм}$, г/мин, по формуле: $G_{рм} = \frac{If_{н}}{60}$, где I — сила сварочного тока; $f_{н}$ — коэффициент наплавки выбираем по зависимости диаметра наплавочной проволоки и вида наплавки. Объём расплавленного металла $Q_{рм}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, —

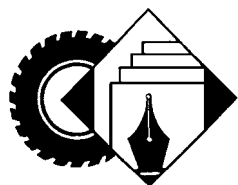
по формуле: $Q_{рм} = G_{рм}/\gamma$, где γ — плотность расплавленного металла.

Вылет электрода (мм): $\sigma = (10-12)d_{пр}$. Смещение электрода (мм): $l = (0,05-0,07)d_{пр}$.

В заключение — о безотказности работы технологического оборудования вибродуговой наплавки и любого его элемента: поток отказов, как известно, определяется законом нормального распределения: $P = \exp(-\lambda t)$. Как видно из формулы, безотказность зависит от двух составляющих — интенсивности λ потока отказов и наработки t .

Литература

1. Ярошевич В.К. Технология производства и ремонта автомобилей: Учебник В.К. Ярошевич, А.С. Савич, В.П. Иванов. — Минск: Адукацыя і выхаванне, 2011. — 592 с.: с ил.
2. Режимы резания металлов: справочник под редакцией Ю.В. Барановский. Изд. 4-е. перераб. и доп. М.: НИИТавтопром, 1995. — 456 с.: ил.
3. Косилова А.Г., Мешерякова Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. Машиностроение. В 2-х томах. Том 1, 4-е издание, 1986. — 656 с.



ИНФОРМАЦИЯ

УДК 338.45.01

О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Канд. экон. наук **КАЛМЫКОВ Ю.П., БЕКУЛОВА С.Р.**
Финансовый университет (jkalmykov@rambler.ru)

Рассмотрены вопросы удовлетворения потребности населения в продукции автомобильной промышленности и роль отрасли в создании новых рабочих мест. Уделено внимание росту реальных доходов работников и защите их от социальных рисков. Анализируются экологическая безопасность автомобилей, состояние транспортной инфраструктуры и их влияние на жизнедеятельность и социальную активность населения. Дается оценка по выводу на рынок продуктов с новыми решениями и состояния обновления парка колёсных транспортных средств. Раскрывается необходимость и механизмы обеспечения экономического роста автомобильной индустрии.

Ключевые слова: качество жизни населения, автомобильная индустрия, инновации, субсидии, институты социального страхования, экономический рост, малый бизнес, экологическая безопасность, транспортная инфраструктура.

Kalmykov Yu.P., Bekulova S.R.
LIFE QUALITY INDUSTRY

The issues of satisfying the needs of the population in the products of the automotive industry and the role of the industry in creating new jobs are considered. Attention is paid to the growth of real incomes of workers and their protection from social risks. The environmental safety of cars, the state of transport infrastructure and

their impact on the livelihoods and social activity of the population are analyzed. An assessment is given of the launch of products with new solutions and the status of updating the fleet of wheeled vehicles. The necessity and mechanisms for ensuring the economic growth of the automotive industry are revealed.

Keywords: quality of life, automobile industry, innovation, subsidies, social insurance institutions, economic growth, small business, environmental safety, transport infrastructure.

Как показал анализ, в числе основных причин для выбытия из фазы эксплуатации изношенных транспортных средств являются отсутствие эффективной структуры рециклинга и механизма дифференцирования стоимости владения автотранспортным средством по экологии. Европейская и мировая практики показывают, что при их наличии скорость выбытия составляет 7–8 % в год. При наших размерах парка автомобилей с пробегом старше 10 лет это позволит ежегодно обновлять парк, используя имеющиеся производственные мощности, на 765 тыс. автомобилей.

Решая проблемы, связанные с обеспечением населения колёсными транспортными средствами, предприятия автомобильной промышленности играют также важную роль в укреплении общественных финансов государства: формировании доходной базы различного уровня бюджетов страны и финансовом обеспечении общественных институтов для защиты населения от социальных рисков. Сведения о начислении и уплате за 2019 год налогов и сборов в бюджетную систему Российской Федерации по виду экономической деятельности "Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов" представлены в табл. 7 [6].

Участие автомобильной индустрии в формировании доходной базы бюджетов создаёт источник средств для вы-

* Окончание. Начало — см. АП. 2020. № 6.

Таблица 7

| Виды налогов и сборов | Млн руб. | Доля от суммы, % | |
|---|----------|-------------------|----------------------------------|
| | | по всей экономике | по обрабатывающей промышленности |
| Начислено к уплате в текущем году в консолидированный бюджет РФ | 6699,7 | 0,18 | 2,20 |
| Поступило платежей в консолидированный бюджет РФ: | 6252,3 | 0,16 | 2,02 |
| 1. Федеральные налоги и сборы: | 6113,4 | 0,17 | 2,05 |
| 1.1. налог на прибыль организаций | 2307,0 | 0,16 | 3,54 |
| 1.2. налог на доходы физических лиц | 1678,1 | 0,16 | 2,63 |
| 1.3. налог на добавленную стоимость | 1576,9 | 0,14 | 1,30 |
| 1.4. акцизы по подакцизным товарам | 551,4 | 0,84 | 1,15 |
| 2. Региональные налоги и сборы: | 116,2 | 0,07 | 2,69 |
| 2.1. налог на имущество организаций | 74,7 | 0,05 | 1,88 |
| 2.2. транспортный налог | 41,4 | 0,16 | 12,10 |
| 3. Местные налоги и сборы | 1,2 | 0,00 | 0,09 |
| 3.1. налоги, предусмотренные специальными налоговыми режимами | 21,6 | 0,02 | 0,44 |

полнения государством социальных обязательств перед населением страны: установление минимального размера оплаты труда не ниже прожиточного минимума, увеличение страховых пенсий темпами, превышающими инфляцию, повышение размеров пособий по безработице, введение дополнительной бесплатной диспансеризации и др. Все это, в конечном счёте, должно повысить роль в экономике отраслей обрабатывающей промышленности и снять финансовую систему страны с "нефтяной иглы".

Не менее острой проблемой является защита человека от социальных рисков: наступления старости, болезни, инвалидности и иных случаев утраты средств к существованию по не зависящим от человека обстоятельствам. В своём Обращении 16 января 2020 года к Федеральному Собранию Президент Российской Федерации В.В. Путин подчеркнул, что высшим национальным приоритетом является сбережение и преумножение народа России.

Исторически сложилось, что в общей системе социальной защиты человека от базовых рисков Россия выбрала модель социального страхования. Для внедрения её в период 1990—1993 годов были созданы новые государственные общественные институты — Пенсионный фонд России, Фонд социального страхования РФ, Федеральный и территориальные фонды обязательного медицинского страхования, финансовое обеспечение которых возложено было на работодателей, в т.ч. автомобилестроителей.

Сведения об уплате за 2019 год страховых взносов во внебюджетные государственные фонды социального страхования по виду экономической деятельности "Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов" представлены в табл. 8 [6].

Для финансового обеспечения деятельности государственных внебюджетных фондов Правительство РФ периодически устанавливает размер страховых взносов в % от

фонда оплаты труда, который обязан уплачивать за работника работодатель. В настоящее время общая ставка социальных взносов составляет 30 %, из них 22 % поступает в Пенсионный фонд России, 5,1 % — в Фонд обязательного медицинского страхования, 2,9 % — в Фонд социального страхования РФ, включая страхование от несчастных случаев на производстве и от профессиональных заболеваний. Размер платежей по ним варьируется от 0,2 до 8,5 % в зависимости от класса опасности основного вида деятельности предприятия.

По итогам работы за 2018 год за счёт страховых взносов объём привлечённых финансовых ресурсов по всем внебюджетным государственным фондам составил 7495,4 млрд рублей, в том числе в Пенсионный фонд Российской Федерации 4948,7 млрд рублей, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования — 1863,7 млрд рублей, Фонд социального страхования Российской Федерации — 683,3 млрд рублей. В целом их объём превысил 1/3 поступлений доходов федерального бюджета — 19 454 млрд рублей.

Это означает, что помимо уплаты налогов и сборов в бюджет работодатели несут значительную финансовую нагрузку по содержанию внебюджетных фондов, которые удорожают продукцию и снижают её конкурентоспособность на рынке. Это является одной из причин уклонения предприятий от уплаты страховых взносов и вывода из страны капитала.

В своём ответе 20 февраля 2020 года читателям газеты РБК на вопрос "О возможности снижения ставки страховых взносов" Министр финансов России Силуанов А.Г. сказал: "Сегодня нагрузка на труд запредельная. У нас большую часть страховых взносов платит работодатель. Для него это очень сложно, поэтому и происходят всяческие схемы уклонения. Мы заинтересованы, чтобы эта нагрузка снижалась. Самое главное — найти источники компенсации для снижения этих взносов. Пока отсутствуют даже теоретические подходы к этому, нет никаких законопроектов и заготовок на завтра".

Вместе с тем в странах, где используется страховая модель, проблема источников финансирования институтов социального страхования решается в основном за счёт подключения к обязательному страхованию работников пред-

Таблица 8

| Наименование институтов обязательного социального страхования | Всего, млн руб. | Доля от суммы взносов, % | |
|---|-----------------|--------------------------|----------------------------------|
| | | по всей экономике | по обрабатывающей промышленности |
| Страховые взносы на обязательное социальное страхование в Пенсионный фонд России | 2049,6 | 0,16 | 2,35 |
| Страховые взносы на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством | 86,4 | 0,18 | 2,43 |
| Страховые взносы на обязательное медицинское страхование работающего населения, зачисляемые в бюджет ФОМС | 547,9 | 0,16 | 2,42 |
| Всего по всем фондам | 2683,9 | 0,16 | 2,36 |

приятый. Это видно из следующей информации о страховых взносах на 2019 г. по Германии (табл. 9).

В экономическом сообществе России отсутствуют предложения по страховым взносам работников. Это обусловлено одним — недостаточным размером их оплаты труда. Это видно, например, по величине среднемесячной заработной платы в машиностроении России и Германии на начало 2019 года в рублях из соотношения евро к российскому рублю (курс 69,9 рублей за один Евро), представленной в табл. 10.

Причины такого положения во многом связаны с отставанием России по уровню социально-экономического развития от ведущих западных стран. Об этом свидетельствуют данные за 2018 г. по уровню ВВП на душу населения по паритету покупательной способности (в долларах США): Германия — 53 074; Австралия — 51 663,4; Канада — 48 130,3; Япония — 42 797,5; США — 62 794; Великобритания — 45 973,6; Италия — 41 830,4; Норвегия — 65 510,6; Швеция — 53 208,9; Россия — 27147,3.

В связи с исчерпанием возможностей увеличения нормативов отчислений страховых взносов по работодателям, институты социального страхования при выполнении возложенных на них функций не могут обойтись сегодня без финансовой поддержки государства. По отчетным данным за 2018 год трансферты из федерального бюджета для обеспечения плановых расходов фондов составили 3405,3 млрд рублей, или свыше 31 %, в т.ч. по Пенсионному фонду России — в сумме 3321, 2 млрд рублей, Федеральному фонду обязательного медицинского страхования — 32,2 млрд рублей, Фонду социального страхования РФ — 51,9 млрд рублей.

Таблица 9

| Вид страхования | Работодатель | Работник |
|---|---|---|
| Медицинское страхование | 7,3 % + 50 % от дополнительного взноса, определяемого каждой кассой | 7,3 % + 50 % от дополнительного взноса, определяемого каждой кассой |
| Пенсионное страхование | 9,30 % | 9.30 % |
| Страхование от несчастного случая | 1,6 % | — |
| Страхование на случай потребности в постороннем уходе | 1,525 % | 1,525 % Для бездетных старше 23 лет доплата 0,25 % |
| Страхование от потери занятости | 1,25 % | 1,25 % |

Таблица 10

| Деятельность | Россия, рубли | Германия | | Отношение Россия/Германия, % |
|--------------------------------------|---------------|--------------------------|---------|------------------------------|
| | | Евро, без вычета налогов | Рубли | |
| Машиностроение | 40 722 | 5508 | 385 009 | 10,58 |
| Изготовление автомобилей и запчастей | 42 015 | 5953 | 416 115 | 10,09 |
| Изготовление электрооборудования | 45 977 | 5241 | 366 345 | 12,55 |
| Производство и обработка металлов | 60 000 | 5095 | 356 140 | 16,84 |

Это означает, что социальная защита работников не обеспечивается использованием страхового механизма. Особенно серьезные изменения в наметившейся тенденции могут произойти в ходе реализации национального проекта по демографии, когда значительные суммы бюджетных ассигнований планируется выделить общественным социальным институтам без привязки к трудовому стажу и размеру заработной платы работников.

В связи с этим встает проблема сохранения институтов социальной защиты населения, основанных на механизме страхового финансового обеспечения. Это исключительно важно для обеспечения заинтересованности работников в результатах своего труда и демографическому развитию России.

Учитывая это, мы бы считали целесообразным осуществить на примере ряда промышленных предприятий, в т.ч. автомобилестроения, пилотный проект по созданию механизма, стимулирующего участие работников в финансовом обеспечении обязательного социального страхования. *Такой механизм может быть реализован во всех отраслях экономики и социальной сфере при вхождении нашей страны в число пяти крупнейших экономик мира, в т.ч. Германии, предусмотренному в ОНДП на период до 2024 года.*

Наряду с перечисленными направлениями повышения качества жизни населения России исключительно важным является реализация национального проекта "Экология". В ОНДП поставлена задача снизить до 2024 года уровень загрязнения атмосферы не менее чем на 20 процентов. Важная роль в решении этой проблемы отводится автомобильной промышленности. Перед ней поставлена задача освоить в период до 2024 года выпуск колёсных транспортных средств с новыми техническими решениями.

Особенно актуальным для экологической безопасности жизнеобеспечения населения является замена существующих двигателей внутреннего сгорания на электротягу. Появление в эксплуатации автомобилей с нулевыми выбросами в атмосферу углекислого газа полностью соответствует требованиям современного мира. По прогнозам, доля электромобилей в мировом объеме выпуска автомобилей к 2020 г. составит не менее 17 %, три четверти из которых будут гибридными. При этом общее число электромобилей в парке достигнет уровня 20 млн шт., что составит около 1,7 % от глобального автопарка в 2020 году. Ожидается, что в 2019 году на мировом рынке будет продано 2,9 млн ед. электромобилей.

В России продажи электромобилей измеряются пока лишь сотнями единиц в год. Основными препятствиями для развития рынка электромобилей являются: высокая стоимость батарей; отсутствие инфраструктуры для подзарядки и обслуживания электромобилей; высокая цена нового электромобиля, на порядок превышающая цену автомобиля с ДВС.

Важно подчеркнуть, что отечественные автопроизводители в сотрудничестве с научными организациями, в т.ч. НАМИ, проводят значительную работу по устранению перечисленных барьеров и ускорению выхода на требования мирового тренда по использованию электромобилей. Эти меры представлены в Стратегии развития автомобильной промышленности РФ на период до 2025 года. Так, осуществляется разработка базовых технологических решений (НИОКР), реализация пилотных проектов по применению электротранспорта и созданию зарядной инфраструктуры, а также разработка организационной и нормативно-правовой базы; Группа "ГАЗ" при участии МГТУ им. Баумана и Siemens разработан электробус нового поколения на базе ЛиАЗ-5292 (впервые представлен в 2016 г. и уже используется на маршрутах г. Москвы); ПАО "АвтоВАЗ" гото-

вится начать продажи электромобиля "Лада Веста EV", созданы 2 опытных экземпляра, а сам автомобиль проходит последние этапы сертификации; Министерство образования и науки РФ субсидирует проект разработки грузового электротранспорта нового поколения, осуществляемый ИжГТУ имени М.Т. Калашникова и Сарапульским электрогенераторным заводом; Рязанский приборный завод запустит первое в России серийное производство электрозарядных станций ФОРА, которые будут использоваться на автозаправочных станциях и на автотранспортных предприятиях (первые произведённые станции были поставлены ПАО "Кубаньэнерго" в городе Сочи, продолжают НИОКР над ЭЭС-DC с технологией ускоренной зарядки электромобиля и др.).

Минэкономразвития России, Минпромторг России и ФГУП "НАМИ" разработали различные сценарии для роста доли электромобилей в продажах на российском рынке. По одному из них, оптимистическому, при снижении средней стоимости батарей, планируется в период до 2025 года обеспечить уровень продаж электромобилей на уровне 4...5 % от общего уровня продаж автомобилей. После 2025 года массовый выход электромобилей на рынок будет во многом зависеть от развития зарядной инфраструктуры в регионах России.

Наряду с электромобилями важное место в решении проблемы экологии и улучшения жизнедеятельности населения отводится внедрению систем автономного вождения автомобилей и транспортной телематике. Их использование направлено на сокращение количества выбросов в атмосферу CO₂, сокращению дорожно-транспортных происшествий, повышению безопасности водителей и созданию комфортных условий для управления транспортными средствами людьми с ограниченными возможностями.

По имеющимся прогнозам, до 15 % всех продаваемых новых автомобилей в мире в 2030 году могут быть полностью автономными. Это предполагает наличие разработанных безопасных и надёжных технических решений, существенный платежеспособный спрос со стороны потребителей и обеспечение кибербезопасности, в том числе защиты от хакерских и террористических атак. Внедрение телематических систем, по мнению экспертов, позволит увеличить: рост пропускной способности транспорта не менее чем на 25 %; эффективность общественного транспорта на 50 %; грузооборот на 50...100 %; пассажирооборот на 20 %. Одновременно произойдёт снижение дорожно-транспортных происшествий на величину до 60 % на отдельных участках дорог и уменьшение времени реагирования служб специального назначения в экстренных случаях.

Мировой опыт показывает, что для осуществления пилотных проектов по производству и эксплуатации автомобилей с технологиями автономного вождения и применение телематике используются все доступные меры государственной финансовой поддержки, включая прямое бюджетное финансирование, механизмы косвенных финансовых мер и регулятивные меры.

Особое место занимает так называемое "умное страхование": получение полной и достоверной информации о поведении АТС до и во время ДТП с целью установления виновника; информации о стиле вождения водителя за истекший период страхования; совершенствование практики страхования имущественных интересов при использовании транспортных средств.

Ещё одним перспективным направлением решения проблемы загрязнения окружающей среды является широкое использование газомоторной техники. Природный газ по экономическим, экологическим, ресурсным и техническим критериям является одной из возможных аль-

тернатив традиционным видам топлива в долгосрочной перспективе.

Производство автомобильной техники на газовом топливе в мире постоянно растёт. Выпуск газобаллонных автомобилей с 850 тыс. в 1998 г. увеличился до 18,9 млн штук в 2014 году, или более чем в 23 раза. Большие перспективы перевода на газовые топлива всех видов транспорта связываются с криогенными технологиями производства, транспортировки и хранения сжиженного природного газа.

Использованию газа в качестве автомобильного топлива в Российской Федерации способствует наличие больших сырьевых запасов, которые составляют до 32 % от мировых. Весьма важно также, что в России накоплен значительный опыт производства, как автомобилей с газовыми двигателями, так и широкая номенклатура высокоэффективного газобаллонного оборудования. Однако по производству и продажам газобаллонных автомобилей Россия значительно отстает от мирового тренда. Это видно по количеству используемых ГБА в странах-лидерах в 2014 г.: Иран — 4,0 млн штук, Бразилия — 1,8, Пакистан — 3,7, Аргентина — 2,5, Индия — 1,8, Италия — 0,9, США — 0,2, Россия — 0,1 млн.

Анализ показал, что главным препятствием для этого является недостаточное стимулирование использования газобаллонных автомобилей. Для расширения производства и продажи автомобилей с газовыми двигателями в мировой практике широко применяются, наряду с регуляторными инструментами, финансовое стимулирование автопроизводителей и потребителей, которые могли бы использоваться в России: освобождение или снижение ставки налога на горюче-смазочные материалы в отношении КПП (Австралия, Великобритания, Германия); освобождение на три года от уплаты налога на землю при строительстве АГНКС (Япония); предоставление права ускоренной амортизации газобаллонных автомобилей (Япония, Германия); обязательное приобретение бюджетными организациями газобаллонных автомобилей при обновлении подвижного состава предприятия/организации (США) и др.

Перечисленные выше сферы повышения роли автомобильной индустрии в повышении качества жизни населения далеко не исчерпывают данную тему. Не менее важным является вопрос о влиянии колёсных транспортных средств на улучшение транспортной инфраструктуры, строительстве новых и повышение качества существующих автомобильных дорог.

Освоение проектов по автомобильным обходам крупных городов, создание магистралей между областными центрами, выходы региональных автомобильных дорог на федеральные автотрассы "потянут" за собой рост малого бизнеса, туризм и социальную активность на местах проживания населения.

Литература

1. Официальный сайт ОАО "Автосельхозмаш-холдинг" (ОАО "АСМ-холдинг"). URL: <http://www.asm-holding.ru/> (дата обращения: 06.04.2020).
2. Сайт аналитического агентства АВТОСТАТ. URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 23.03.2020).
3. The European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). URL: <https://www.acea.be/> (дата обращения: 23.03.2020).
4. Официальный сайт Федеральной государственной статистики (Росстат). URL: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 23.03.2020).
5. Официальный сайт Федерального управления автомобильных дорог Министерства транспорта США. The Federal Highway Administration (FHWA). <https://highways.dot.gov/> (дата обращения: 23.03.2020).
6. Отчёт о начислении и поступлении налогов, сборов и страховых взносов в бюджетную систему Российской Федерации по основным видам экономической деятельности за 2019 год. URL: https://www.nalog.ru/rn48/related_activities/statistics_and_analytics/fo rms/ (дата обращения: 23.03.2020).

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Козловский В.Н., Айдаров Д.В., Васильев М.М., Гафаров Р.Р. — Разработка и реализация самонастраиваемой целевой функции в системе оценки качества 1

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Антипенко В.С., Лебедев С.А. — Суперконденсаторы и пуск двигателя гибридного легкового автомобиля 6

Балабин И.В., Чабунин И.С. — Повышение устойчивости мобильной машины путём применения отрицательного развала колёс 8

Волков Е.В. — Теория служебного торможения автомобиля 10

Шепелев М.И., Сливинский Е.В. — Устройство для исключения складывания звеньев большегрузного автопоезда при экстренном торможении 13

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Попов А.В., Суркаев А.Л., Моисеев Ю.И. — Метод определения утомления водителя транспортного средства, основанный на трёх параметрах 16

Бирюков Н.Н., Мудрецов Д.Н., Марков В.А., Иванкин А.Н., Карпец Ф.С. — Способ удаления нагара с деталей камеры сгорания автомобильных двигателей внутреннего сгорания 19

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Малиновский М.П., Смолко Е.С. — Оценка эффективности электропневматического тормозного привода автопоезда с применением итерационного метода 27

Дубовик Е.А. — Восстановление крестовины автомобильного дифференциала 33

ИНФОРМАЦИЯ

Калмыков Ю.П., Бекулова С.Р. — О повышении качества жизни 36

Главный редактор Н.А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- Балабин И.В. — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана
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. — канд. экон. наук, 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"
Ксенович Т.И. — канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Руссаен"
Мамити Г.И. — д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)
Марков В.А. — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана
Сорокин Н.Т. — д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России
Тер-Мкртчян 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
Маринов 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 Белорусско-Российского университета (Могилёв)
Харитончик С.В. — д-р техн. наук, доцент БНТУ (Минск)

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Руссаен"

Технический редактор Шацкая Т.А.

Корректор Сажина Л.И.

Сдано в набор 09.05.2020. Подписано в печать 18.06.2020.

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 "Авансед 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 рекомендован ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, входит в международную 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.