ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва "Машиностроение"

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УЧРЕДИТЕЛИ:
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ",
АНО "НИЦ "РУСАЕН"

№ 1 • январь • 2015

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 30 (072)

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Н.Т. БУРГАНОВА
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета (855. 258-97-16)

Рассматривается кадровый потенциал предприятия как важнейший стратегический фактор, определяющий его успешность на рынке.

Ключевые слова: *организация, развитие персонала, профессиональное развитие, система управления развитием.*

Burganova N.T.
MANAGEMENT OF PERSONNEL DEVELOPMENT OF PLANT

The personnel potential of the plant as a key strategic factor in determining its success on market is considered.

Keywords: *organization, personnel development, professional development, management system development.*

В настоящее время для успешной работы на рынке важны не только техническая, информационная, организационная системы, на которые ориентируются те или иные предприятия и отрасли, но и кадровый их потенциал. Например, по данным исследования ВЦИОМ, проведенного в феврале 2011 г., 52 % российских предприятий считают, что главной проблемой для них является именно дефицит квалифицированных специалистов. Такого же мнения придерживаются 57 % представителей крупного российского капитала.

И это не только беда нашей страны. Трудности, обусловленные нехваткой профессиональных кадров, испытывают и фирмы многих зарубежных стран. Так, консалтинговая фирма "Корпорэйт Экзекьютив Борд" установила, что в 2009 г. 62 % менеджеров в мире по персоналу были обеспокоены дефицитом талантов во всех подразделениях экономики.

То есть проблема эта общая. И пора задуматься, как привлекать талантливых людей к процессу развития. И, что еще труднее, как удержать таких специалистов.

Попытки разобраться в этой проблеме, а следовательно, найти способы ее решения, есть. Например, результаты исследования по теме "Лучшие работодатели", выполненного фирмой "Хевит Ассошиайтс" в разных странах, показывают, что большинство финансовых показателей напрямую зависят от такого фактора, как вовлеченность персонала фирмы в ее деятельность: у фирм, где общий уровень вовлеченности превышает 60 %, совокупный доход акционеров в 2,5 раза выше среднего. Одно это позволяет сделать вывод: на современном предприятии приобретает ключевое значение развитие персонала, нацеленное на повышение уровня знаний, способностей, ценностей и усиление мотивации работников.

Но данный вывод — лишь ответ на вопрос " что надо сделать?", с практической точки зрения не менее важен и вопрос "как сделать?". Ответ на него звучит примерно так: нужно проводить соответствующие организационные экономические мероприятия в области обучения, повышения квалификации и профессионального мастерства персонала, а также стимулирования его творчества. Потребность в профессиональном развитии обусловлена необходимостью приспособиться к изменениям внешней среды, новым образцам техники и технологиям, стратегии и структуре предприятий, задаче освоения дополнительных видов деятельности, и сегодня это понимают все. Например, более 85 % опрошенных японских менеджеров на первое место среди своих задач ставят именно развитие человеческих ресурсов, в то время как введение новых технологий — 45 %, а продвижение на новые рынки — около 20 %.

К счастью, ответ на вопрос "как?" уже находят и более конкретные ответы, главные из которых, по мнению автора, сводятся к следующему.

Для повышения эффективности системы управления развитием персонала необходимо, чтобы в штате каждого предприятия и каждой организации был специалист по развитию персонала; чтобы целенаправленное формирование корпоративной культуры труда и системы трудовых отношений стало нормой; чтобы был создан институт наставников; чтобы совершенствовалась система материального поощрения (премирования); чтобы была организована система постоянной учебы "всех и вся".

Содержание данных мероприятий зависит от состояния конкретного предприятия, но их цель одна — упростить и упорядочить работу предприятия, что в конечном итоге скажется на повышении общей эффективности его деятельности. В том числе благодаря повышению эффективности системы управления развитием персонала, что проявляется через снижение коэффициентов выбытия кадров и их текучести, уменьшения уровня конфликтности в коллективе, числа жалоб, улучшение взаимоотношения в системе "руководство—коллектив".

Если систематизировать результаты реализации перечисленных выше мероприятий, то, как показывает опыт, основанный на них, система управления развитием персонала позволяет решать довольно много задач. В том числе создать организационную структуру предприятия, максимально приспособленную к условиям реформирования, а также более эффективную с точки зрения системы управления человеческими ресурсами; рационально распределить полномочия между средним звеном управления, сняв тем самым заботу о текущих вопросах с высшего руководства и позволив ему сконцентрироваться на решении стратегических задач; сформировать, развить и рационально использовать профессиональный потенциал каждого сотрудника и предприятия в целом; обеспечить преемственность профессионального опыта и культуры предприятия; достигнуть взаимопонимания между сотрудниками по вопросам их развития и продвижения; создать благоприятные условия для реализации этого взаимопонимания; снизить текучесть кадров, а значит, и экономические потери, связанные с ней; увеличить внутренний оборот кадров; повысить уровень профессионализма работников, следовательно, и качество выполняемых ими работ; реализовать меры, направленные на совершенствование системы обучения и профессиональной подготовки кадров; улучшить систему мотивации работников за счет укрепления корпоративной культуры внедрения системы различных социальных льгот и выплат.

Литература

1. Герчиков В.И. Управление персоналом: работник — самый эффективный ресурс компании: учебн. пособие. М.: ИНФРА-М, 2011. Режим доступа: http://znanium.com.
2. Грачёв А.В. Финансовая устойчивость предприятия: анализ, оценка и управление: учебн. пособие. М.: Экономика, 2010. — 365 с.
3. Шишов С. Персонал — основа достижения целей бизнеса // Управление персоналом. 2012. № 18. С. 12—24.
4. Spencer L.M. & Spencer S.M. Competence at work models for superior performance. New York: John Wiley & Sons. Inc, 1993.

УДК 656.135

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д-р техн. наук **С.М. МОЧАЛИН**, **Л.В. ТЮКИНА**
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ) (3812. 65-03-22)

Представлен анализ существующих классификаций цепи поставок. Обоснована необходимость применения системного подхода для классификации цепи поставок. В результате исследования выявлены новые классификационные признаки.

Ключевые слова: *цепь поставок, системный подход, классификация, партия.*

Mochalin S.M., Tyukina L.V.

IDENTIFICATION OF THE SUPPLY CHAIN IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Presents the analysis of the existing classifications of the supply chain. The necessity of a systematic approach for the classification of the supply chain. The study revealed new classification features.

Key words: *supply chain, the system approach, the classification, the party.*

Концепция управления цепями поставок (УЦП) основана на принципах взаимодействия, синхронизации основных бизнес-процессов и моделей планирования и управления на основе единых информационных каналов между контрагентами по всей цепи поставок. Внедрение данной концепции в бизнесе при реализации поставок приводит к следующим основным эффектам: снижение уровня запасов, сокращение производственных мощностей, улучшение качества изделий, снижение объемов непроизводственных (вспомогательных) процессов, сокращение длительности циклов, повышение производительности и эффективности использования оборудования, сокращение объемов делопроизводства, снижение количества брака, повышение гибкости процессов.

Несовершенство организации процессов поставки груза приводит к невыполнению сроков доставки товара, недопоставке, а значит — к снижению уровня качества логистического сервиса, сбою производства, потере деловой репутации и т. д. Чтобы организовать эффективные поставки, необходимо спланировать все логистические операции в пространстве и времени. Для этого необходимо идентифицировать цепи поставок на основе классификационных признаков, изучить закономерности протекания процессов поставки, разработать модель. Анализ отечественного и зарубежного опыта применения концепции управления цепями поставок (УЦП) в автомобильной промышленности свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования вопросов организации и управления процессами поставки [1].

Поставка грузов в автомобильной промышленности осуществляется в различных цепях поставок. Прежде чем оказаться на сборочном конвейере компоненты проходят свой путь, который является уникальным для каждой цепи. В настоящее время существуют различные авторские определения цепи поставок [2—8]. В. И. Сергеев в своей работе [9] рассматривает цепь поставок как сеть контрагентов, осуществляющих переработку сырья, изготовление полуфабрикатов и создание продукта, поставляемого впоследствии через различные каналы сбыта потребителю.

С учетом возрастающей конкуренции поставщики стремятся учитывать все требования и ограничения заказчика на доставку груза. В настоящее время основ-

Рис. 1. Фрагмент цепи поставки ОАО "АвтоВАЗ"

Рис. 2. Движение материальных потоков ОАО "АвтоВАЗ" [9]

ными условиями является доставка груза "точно вовремя" (JIT) и "точно в последовательности" (JIS). Например, доставка комплектующих на завод по сборке автомобилей должна осуществляться также в рамках концепций JIT и JIS, так как заявки формируются согласно возникшим потребностям (объему, номенклатуре) завода на данный момент.

Невыполнение условий поставки отрицательно сказывается не только на итогах деятельности завода-изготовителя, но и на работе всех контрагентов. Так, объем недопоставок по отгрузке продукции ОАО "АвтоВАЗагрегат" за 2008 г. составил 1320 тыс. руб. (0,7 %). Продукция была недопоставлена по вине транспортной организации [10]. В 2010 г. в связи со сбоями в поставках деталей и узлов у ВАЗа накопились значительные запасы недоукомплектованных автомобилей, так как был нарушен график своевременных поставок предприятиями "Балаковорезинотехника", "Автоприбор" и челябинским заводом "Пластик". Также причиной простоя конвейера стала несвоевременность поставок ЗАО "Цепи", которое нарушило сроки поставок приводных цепей для двигателей автомобилей семейств "Лада Калина" и ВАЗ-2105...2107. В результате по оценкам экспертов, ОАО "АвтоВАЗ" отстал от графика примерно на 1 тысячу автомобилей [11].

Поставка каждого продукта осуществляется по конкретной сложившейся цепи. На рис. 1 приведен фрагмент цепи поставки ОАО "АвтоВАЗ". Прямыми поставщиками материалов и комплектующих изделий для ОАО являются 365 предприятий [10]. На рис. 2 представлена схема движения материальных потоков ОАО "АвтоВАЗ". Данные заказы для комплектующих в течение смены могут осуществляться как однократно, так и многократно, таким образом мы имеем моно- или полипартионные поставки.

При формировании и функционировании цепи поставок необходимо уделить особое внимание их идентификации. Для принятия дальнейших правильных управленческих решений необходимо определиться с объектом и применить соответствующую оптимизационную модель. Известны различные подходы к классификации цепей поставок. Классификация цепей поставок, приведенная в работах [2, 12], основана на возникающих связях между участниками цепи и не учитывает особенности протекания транспортных процессов при доставке грузов автомобильным транспортом, например: закономерности протекания транспортных процессов, многозвенность цепи поставок, мощность грузовых потоков, пропускную способность и т. д. Базовая классификация предложена в работе [3, с. 71]. Она основана на системном подходе, применение которого основано на том, что структура управления цепями поставок в автомобильный промышленности — многоуровневая. Только системный подход позволяет провести исследование цепи поставок комплексно с учетом особенностей протекания логистических процессов.

В ходе исследования заявок на поставку груза выявлено [13], что все поставки можно подразделить на моно- и полипартионные. *Монопартионная поставка* осуществляется в рамках заявки одной партии. Например (рис. 3), согласно полученной заявке, грузополучателю необходимо доставить груз общим объемом 60 т до 17.00 ч. Автомобиль грузоподъемностью 20 т совершит три ездки, причем последняя разгрузка (на третьей ездке) должна завершиться до 17.00 ч. Таким образом, процессы поставки должны быть спланированы так, чтобы все операции закончились к 17.00 ч. Тогда время начала третьей ездки ($3T_н$) определяется следующим образом: $3T_н = T_{тв} - t_{е.гр} - t_п$; время начала второй ездки ($2T_н$): $2T_н = t_х - P - t_{е.гр} - t_п$; время начала первой ездки ($1T_н$): $1T_н = t_х - P - t_{е.гр} - t_п$. *Полипартионная поставка* — такая, в которой предъявленный объем груза доставляется за n-е количество партий, где $n > 1$. Например (рис. 4): согласно полученной за-

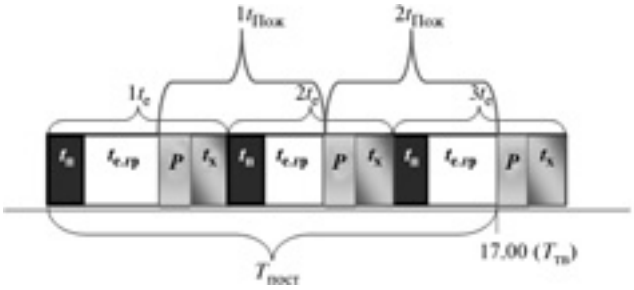


Рис. 3. Пример монопартионной поставки:

P — разгрузка; $T_{пост}$ — общее время на поставку партии груза в рамках одной заявки; $T_{тв}$ — время, к которому необходимо доставить партию (время "точно в срок"); $t_п$ — время погрузки; $t_{е.гр}$ — время ездки с грузом; $t_х$ — время ездки без груза; время ожидания автомобиля начала исполнения ездки ($t_е$) отсутствует; время ожидания грузополучателем очередной порции груза ($t_{Пож}$) распределено равномерно

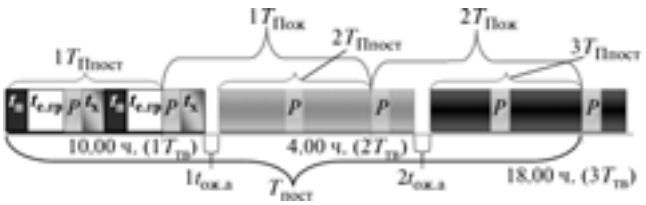


Рис. 4. Пример полипартионной поставки:

P — разгрузка; $T_{пост}$ — общее время на поставку всех партий груза в рамках одной заявки; $T_{тв}$ — время, к которому необходимо доставить партию (время "точно в срок"); $t_п$ — время погрузки; $t_{е.гр}$ — время ездки с грузом; $t_х$ — время ездки без груза; время ожидания автомобиля начала исполнения партии ($t_{ож.а}$) распределено равномерно; время ожидания грузополучателем очередной партии груза ($T_{Пож}$) распределено равномерно; объем перевозимого груза каждой партии const

явке, грузополучателю необходимо доставить груз. Общий объем груза 80 т, но 20 т необходимо доставить к 10.00 ч (1-я партия), 30 т — к 14.00 ч (2-я партия), 30 т — к 18.00 ч (3-я партия).

Данные виды поставки можно классифицировать по следующим признакам проходящего материального потока в соответствии с условиями данной заявки.

1. Количество звеньев в цепи поставок (N): без участия посредников — прямая ЦП, то $N = 1$; с участием посредников — эшелонированная ЦП, то $N > 1$.

2. Мощность материального потока в цепи поставок ($Q_{мп}$): $Q_{мп} < W_{тс}$, то $Ac = 1$; где $Q_{мп}$ — мощность материального потока, $W_{тс}$ — производительность транспортной системы, Ac — требуемое количество транспортных средств; $Q_{мп}$, $> W_{тс}$, то $Ac > 1$; $Q_{мп} = Q_{тс}$, то $T_д = 1$, где $Q_{тс}$ — пропускная способность системы ЦП; $T_д$ — количество дней, необходимых для осуществления поставки; $Q_{мп} > Q_{тс}$, то $T_д > 1$.

3. Партионность поставки в рамках одной заявки ($П_п$). $П_п$ = 1, 2, 3, ..., k, где k — количество партий в рамках одной заявки: если $П_п = 1$, то это монопартионная поставка; если $П_п > 1$, то это полипартионная поставка.

4. Объем перевозимого груза за одну партию ($Q_{гр}$): с фиксированным объемом перевозимого груза за партию — $Q_{гр}$ = const; с нефиксированным объемом перевозимого груза за партию — $Q_{гр} \neq$ const.

5. Время ожидания грузополучателем очередной партии груза ($ТП_{ож}$):

с одинаковым временем ожидания — $ТП_{ож.i} \overset{n}{\underset{i+1}{=}} ТП_{ож}$, где i — порядковый номер партии, n — заключительная партия;

с различным временем ожидания — $ТП_{ож.i} \overset{n}{\underset{i+1}{\neq}} ТП_{ож}$.

6. Время ожидания автомобиля начала исполнения партии ($t_{ож.а}$): без времени ожидания — $t_{ож.а} = 0$;

с одинаковым временем ожидания — $t_{ож.а} \overset{n}{\underset{i+1}{=}} t_{ож.а}$; где i — порядковый номер партии, n — заключительная партия;

с различным временем ожидания — $t_{ож.а} \overset{n}{\underset{i+1}{\neq}} t_{ож.а}$.

7. Ограничение по времени начала и окончания поставки партии ($T_{огр}$): с ограничением времени начала поставки ($T_{н.п}$) партии — $T_{огр} = T_{н.п}$; с ограничением времени окончания поставки ($T_{ок.п}$) партии — $T_{огр} = T_{ок.п}$; с ограничением времени начала и окончания поставки партии — $T_{н.п} = T_{огр} = T_{ок.п}$.

8. Номенклатурность груза (H_i — *номенклатурность i-й партии)* характеризуется количеством номенклатурных единиц груза в *i*-й партии. Данный признак важен для соблюдения условий поставки по концепции *JIS*. За *i*-е количество партий груз может быть различной номенклатуры: $H_i = 1$ — моногруз; $H_i > 1$ — полигруз.

Идентификация цепей поставок позволяет организовать эффективные поставки с применением концепций JIT и JIS. Что в свою очередь обеспечивает качественное управление, направленное на обслуживание клиентов на более высоком уровне, с меньшими издержками, с гарантированными сроками и последовательностью поставок.

На основании выше сказанного можно сделать следующие выводы: процесс идентификации цепи поставок проработан еще слабо; полнота классификационных признаков на основе, которых может происходить эта идентификация весьма условна; существующая классификация цепей поставок не учитывает особенности протекания транспортных процессов при доставке грузов автомобильным транспортом; для классификации цепей поставок грузового автомобильного транспорта необходимо учитывать закономерности протекания транспортных процессов, многозвенность цепей поставок, мощность грузовых потоков, пропускную способность и т. д.

Литература

1. Майкл Джордж. Бережливое производство + шесть сигм. Пер. с англ. — 3-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. — 360 с.
2. Иванов Д. А. Управление цепями поставок. СПб: Изд-во Политехн., ун-та, 2009. — 660 с.
3. Чебакова Е. О., Мочалин С. М., Варакин В. В. Технико-экономическое планирование транспортного процесса в цепях поставок: монография. Омск СибАДИ, 2009. — 320 с.
4. Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2е-изд. / Пер. с англ. Н. Н. Барышниковой, Б. С. Пинскера. — М.: ЗАО "Олимп — Бизнес", 2008. — 640 с.
5. Terminology in Logistics. ANNEX Dictionary. European Logistics Association, 1994. P. 95.
6. APICS Dictionary. 8th Edition. American Production and Inventory Control Society, Inc 1995. P. 95.
7. Лайсонс К., Джиллингем М. Управление закупочной деятельностью и цепью поставок: пер. с 6-го англ. изд. М., 2005.
8. Котлер Ф., Келлер К. Л., Маркетинг — менеджмент. 12-е изд. СПб., 2006.
9. Сергеев В. И. Управление цепями поставок : учебник для бакалавров и магистров. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 479 с.
10. avtovaz.ru (дата обращения 29.05.2014 г.).
11. http://www.avtolife.info/news/a-484.html (дата обращения 29.05.2014 г.).
12. Смирнова Е. А. Управление цепями поставок: Учебное пособие.— СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2009. — 120 с.
13. Мочалин С. М., Тюкина Л. В. Особенности применения логистических принципов в организации доставки грузов автомобильным транспортом // Вестник СибАДИ. — 2014. — № 1. — С. 20—24.

УДК 629.021

БелАЗ-7558 — НОВАЯ ЛИНЕЙКА САМОСВАЛОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 90 Т

А.Н. ЕГОРОВ, Л.И. ТРУХНОВ, А.М. НАСКОВЕЦ
НТЦ ОАО "БЕЛАЗ" — управляющая компания холдинга "БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ" (+3751775. 3-79-54)

Белорусский автомобильный завод приступил к изготовлению карьерных самосвалов с электромеханической трансмиссией серии БелАЗ-7558; они придут на смену ранее выпускаемым заводом машин той же грузоподъемности, но с гидромеханической трансмиссией (БелАЗ-75570). Созданы две модификации самосвалов, отличающиеся конструкцией тягового электропривода (поставщики — две российские компании). Одна модификация еще проходит заводские испытания, а другая — БелАЗ-75581 — уже запущена в серийное производство.

***Ключевые слова**: ОАО "БЕЛАЗ" — управляющая компания холдинга "БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ", карьерные самосвалы БелАЗ-7558, электромеханическая трансмиссия, тяговый электропривод.*

Egorov A.N., Truhnov L.I., Naskovets A. M.

NEW LINE OF 90 TONNES BelAZ-7558 SERIES MINING DUMP TRUCKS WITH AC ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION

OJSC "BELAZ" started the production of BelAZ-7558 series mining dump trucks with electromechanical transmission; they will succeed previously produced dump trucks of the same payload capacity, but with hydromechanical transmission (BelAZ-75570). Two dump truck modifications, that differ from each other by traction drive design (suppliers — two Russian companies), were developed. One modification is still taking a factory test, and the other one — BelAZ-75581 has already gone into series production.

***Keywords:** OJSC "BELAZ" — Management Company of holding "BELAZ-HOLDING", BelAZ-7558 mining dump trucks, electromechanical transmission, traction drive.*

БЕЛАЗ, как известно, в своей производственной линейке имеет оснащенные ГМП карьерные самосвалы широко востребованного класса грузоподъемности 90 т. Но некоторое время назад его специалисты приступили к разработке новых высокоэффективных при эксплуатации карьерных самосвалов той же грузоподъемности, но с электромеханической трансмиссией. В итоге к середине 2012 г. был изготовлен опытный образец, получивший индекс БелАЗ-75580, а к концу года — образец БелАЗ-75581, который в настоящее время серийно производится под индексом БелАЗ-55581.

Самосвалы этой серии представляют собой технологические машины грузоподъемностью 90 т с жесткой литосварной рамой и задней разгрузкой, их колесная формула — 4×2; передние колеса, как обычно, управляемые, задние — ведущие. Предназначены эти АТС для перевозки вскрышных пород и полезных ископаемых на открытых горных разработках, грунта и других сыпучих грузов вне дорог общего пользования. Они оснащены дизелями QST 30-C с V-образным расположением цилиндров, непосредственным впрыском топлива, газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением надувочного воздуха. Мощность таких дизелей — 783 кВт (1065 л. с.) при 1900 мин$^{-1}$, что позволяет самосвалу развивать скорость до 60 км/ч.

Дизель оборудован электростартерным пуском, сухими трехступенчатыми воздушными фильтрами с автоматическим удалением пыли. Для облегчения его пуска в холодное время года предусмотрен предпусковой подогреватель охлаждающей жидкости и топливный фильтр грубой очистки с функцией подогрева. Выпуск отработавших газов осуществляется, как обычно у карьерных самосвалов, через теплоизолированные трубопроводы и металлорукава оригинальной конструкции. В системе выпуска предусмотрен газоприемник, предназначенный для системы обогрева грузовой платформы.

В состав БелАЗ-75580 (рис. 1) входит электропривод КТОЭ-90 переменно-переменного тока производства ЗАО "Крона Груп", который обеспечивает максимальный динамический фактор не менее 24 %. Полностью загруженный самосвал способен преодолеть длительные уклоны до 16 % со скоростью не менее 6,3 км/ч, а тормозные резисторы общей мощностью 1200 кВт поддерживают постоянную скорость, равную 15 км/ч, на 16%-м спуске.

Электропривод состоит из двух тяговых электродвигателей ТАД-350-6-УХЛ2, тягового генератора СГТ-750 УХЛ2, и шкафа электрооборудования ШПСУ-90. Его параметры следующие:

Мощность генератора, кВт	750
Напряжение на шине постоянного тока на выходе выпрямителей, В:	
в тяговом режиме	950
в тормозном режиме	1000
Мощность тормозной резисторной установки, кВт	2×600
Номинальная мощность на валу асинхронного двигателя, кВт	350
Максимальная частота вращения якоря асинхронного двигателя, мин$^{-1}$, при скорости самосвала 60 км/ч	4000

На самосвале же БелАЗ-75581 (рис. 2) установлен другой электропривод — КТЭ-90 производства ОАО "Силовые машины", филиала фирмы "Электросила". Он состоит из двух тяговых двигателей ТАД-9 УХЛ 2, тя-

Рис. 1. Карьерный самосвал БелАЗ-75580

Рис. 2. БелАЗ-75581 на угольном разрезе "Камышанский"

гового генератора ГСТ 700-8 УХЛ2 (1900 мин$^{-1}$, трехфазное исполнение), шкафа преобразователя частоты ШУ-90 (или "преобразователя") с комплектом монтажных частей (внешние кабели и контроллер кабины), комплекта кабинного оборудования (приборы управления, контроля и визуализации).

Основные параметры этого электропривода таковы.

Мощность генератора, кВт	730
Напряжение на шине постоянного тока (на выходе выпрямителей), В:	
в тяговом режиме	950
в тормозном режиме	900
Мощность тормозной резисторной установки, кВт	2×600
Номинальная мощность на валу асинхронного двигателя, кВт	322
Максимальная частота вращения якоря асинхронного двигателя, мин$^{-1}$ (при скорости самосвала 60 км/ч)	4140

Применение тягового электропривода с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом позволяет улучшить, по сравнению с гидромеханической трансмиссией, тяговые и тормозные характеристики самосвала; повысить эффективность его работы за счет более высокой производительности; расширить скоростной диапазон эффективного динамического торможения в области высоких и низких скоростей; увеличить надежность работы в целом; снизить эксплуатационные затраты на техническое обслуживание, ремонт и расходные материалы благодаря отсутствию коробки передач с годротрансформатором, дифференциала с карданной передачей, многодискового рабочего тормоза с его системой охлаждения, применения высокоэффективной микропроцессорной системы управления и диагностики. Кроме того, классическая колесная формула 4×2 в сочетании с направляющим аппаратом подвески, короткой базой и электромеханической трансмиссией переменного тока обеспечивают самосвалу высокую плавность хода, маневренность и хорошие тягово-динамические качества.

Направляющий аппарат подвески рассматриваемого самосвала имеет значительно меньшую силу сухого трения, чем у самосвалов-аналогов, что обеспечивает хорошую плавность хода и минимальные динамические нагрузки на оператора и узлы самосвала.

Очень важно и то, что в цилиндрах подвески применены шаровые опоры: они значительно снижают трудоемкость и себестоимость ремонта (требуется лишь заменить вкладыши).

Вместе с тем нельзя не отметить и такой факт: на самосвале применена классическая схема редукторов мотор-колес ведущего моста, максимально унифицированная с редукторной частью серийных 120-тонных самосвалов, что характеризует высокую надежность узла.

Есть и другие интересные новшества.

Так, гидросистема привода рулевого управления, тормозов и опрокидывающего механизма на этом самосвале объединенная, со значительной степенью унификации ее элементов. При этом гидронасос переменной подачи приводится от выходного фланца тягового генератора без применения дополнительного редуктора, что минимизирует потери мощности. Нет и радиатора для охлаждения гидропривода. Ресурс насосов до ремонта за счет внедрения дополнительной системы фильтрации масла составляет не менее 25...30 тыс. мото-ч.

В стандартную комплектацию самосвалов серии БелАЗ-7558 входят предпусковой подогреватель охлаждающей жидкости, кондиционерно-отопительный блок, система комбинированного пожаротушения с дистанционным включением, автоматическая централизованная система смазки, системы контроля загрузки и топлива, телеметрического контроля давления в шинах, видеообзора, предупреждения приближения к высоковольтным линиям.

По заказу потребителя возможно исполнение самосвала с различными грузовыми платформами, обеспечивающими максимальное использование его грузоподъемности в зависимости от плотности перевозимого груза, с футеровкой днища для защиты от износа при перевозке породы с большими абразивными свойствами и т. д. Прорабатывается вариант установки на такие самосвалы ДВС других производителей.

Технические характеристики вариантов карьерных самосвалов серии БелАЗ-7558 грузоподъемностью 90 т приведены ниже.

	БелАЗ-75580	БелАЗ-75581
Грузоподъемность, т	90	
Модель двигателя	QST 30-C	
Номинальная мощность двигателя, кВт (л. с.) при 1900 мин$^{-1}$	783 (1065)	
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г(кВт·ч)	202	
Мощность тягового генератора, кВт	750	730
Тяговый электродвигатель	ТАД-350-6	ТАД-9
Мощность тягового электродвигателя, кВт	350	322
Вместимость кузова, м^3:		
геометрическая	37,7; 44,5; 75,0	
с "шапкой" 2 : 1	53,3; 60,0; 93,0	
размерность шин	27.00R49; 31/90-49	
Радиус поворота, м	11	
Масса, т:		
эксплуатационная (комплектация без дополнительных систем)	74	
полная	164	
Максимальная скорость, км/ч	60	

Внедрение новой серии карьерных самосвалов позволило горнякам снизить эксплуатационные затраты и повысить производительность при перевозках. Что, в частности, подтверждают приведенные ниже мнения

главного инженера и водителя российской горно-добывающей фирмы ООО "Регион 42", где в настоящее время эксплуатируется карьерный самосвал БелАЗ-75581.

Так, первый из них, А. Галкин, говорит: "Регион 42" оказывает услуги по перевозке угля и вскрышной породы на карьерных самосвалах БелАЗ. Мы располагаем автопарком, который насчитывает более сотни БелАЗов грузоподъемностью от 55 до 220 т, и их число постоянно увеличивается. Могу сказать, что эта техника надежна и проверена временем. Именно мы первыми в России приобрели 90-тонный БелАЗ-75581 с электромеханической трансмиссией. Сейчас эта машина задействована в разрезе "Камышанский" ОАО "СУЭК-Кузбасс". И уже по итогам первых месяцев работы нами было принято решение приобрести партию таких самосвалов.

Вывод водителя М. Мельникова: "Машина очень надежная и "тяговитая", что сказывается и на наших зарплатах", так как мы успеваем сделать больше рейсов, не нарушая при этом скоростного режима".

УДК 629.013

ПОСТРОЕНИЕ АВТОПОЕЗДОВ С АКТИВНЫМИ ПРИЦЕПНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ В ТЯЖЕЛЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Д-р техн. наук **С.Б. ШУХМАН**, кандидаты техн. наук **С.Н. КОРКИН** и **Р.Х. КУРМАЕВ**, **М.А. КАПРАЛОВА**
НАМИ (495 456-40-01)

Рассмотрены принципы построения конструкций автопоездов с активными прицепными звеньями, предназначенных для движения по бездорожью, перспективы применения на них бесступенчатых гибких интеллектуальных трансмиссий, а также основные функциональные режимы работы системы управления бесступенчатой трансмиссией активных прицепных звеньев.

Ключевые слова: *автопоезд с активным прицепным звеном, бесступенчатая трансмиссия, гидрообъемный привод, система управления.*

Shuhman S.B., Korkin S.N., Kurmaev R.H., Kapralova M.A.
PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF ROAD TRAINS WITH ACTIVE TRAILED LINKS DESIGNED FOR OFF-ROAD USE

The principles of the different designs road trains with active trailed links, designed for off-road use, prospects of continuously variable transmissions for road trains, as well as basic functional modes of the control system continuously variable transmission trailed active trailed links are considered.

Keywords: *road-train with active trailed link, continuously variable transmissions, hydrostatic transmission, control system.*

В настоящее время одним из направлений развития транспорта нашей страны является, как и за рубежом, разработка автопоездов с активным приводом прицепного звена, предназначенных для эксплуатации в условиях бездорожья, характерного для труднодоступных регионов, которые и осваиваются. Такие АТС обладают повышенными на 25 % и более проходимостью и средними скоростями движения, а также высокой грузоподъемностью, возможностью объединения прицепных звеньев для транспортирования длинномерных и крупногабаритных тяжелых грузов; пониженным на ~40 % разрушающим воздействием на почву. Кроме того, они выгодны на дорогах с твердым покрытием при движении в тяжелых дорожных условиях (крутые подъемы, гололедица, геометрические препятствия), на которых тяговой силы автомобилей-тягачей не хватает.

За рубежом такие АТС уже выпускают. Например, немецкая фирма "Гольдхофер", итальянская "Кометто", французская "Николас" и некоторые другие. Предпринимались попытки их создания и в нашей стране. Конструкции, разработанные в последние десятилетия на БАЗе, ЗИЛе, ГАЗе, МаЗе, УралАЗе, КрАЗе и др., имели преимущественно механический привод колес прицепного звена. То есть крутящий момент передавался на прицепное звено с помощью карданной передачи, расположенной внутри седельного устройства. Но для современного уровня развития технологий машиностроения это не лучшее из решений. Гораздо более эффективными считаются автопоезда, у которых привод колес прицепного звена обеспечивается дополнительным вспомогательным электрическим модулем (рис. 1) или с помощью гидрообъемной передачи (рис. 2). Такие активные автопоезда предназначены для перевозки тяжелой техники и неделимых грузов по неблагоустроенным дорогам и бездорожью.

В первом случае показана принципиальная компоновочная схема активного полуприцепа с электрическим приводом (работает по принципу гибридного

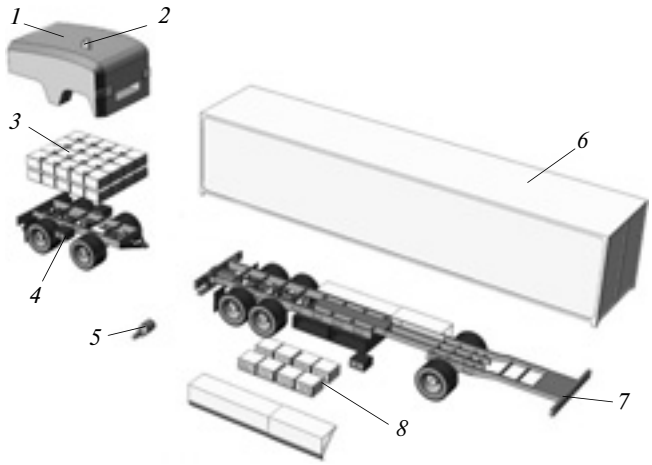


Рис. 1. Компоновочная схема автопоезда с дополнительным электрическим модулем:
1 — дистанционный вспомогательный блок; *2* — антенна; *3* — блок вспомогательной батареи аккумуляторов; *4* — блок управления электроникой; *5* — основной мотор-генератор; *6* — контейнер для груза; *7* — регулятор длины прицепа; *8* — блок аккумуляторов прицепа

Рис. 2. Автопоезд с гидрообъемной трансмиссией

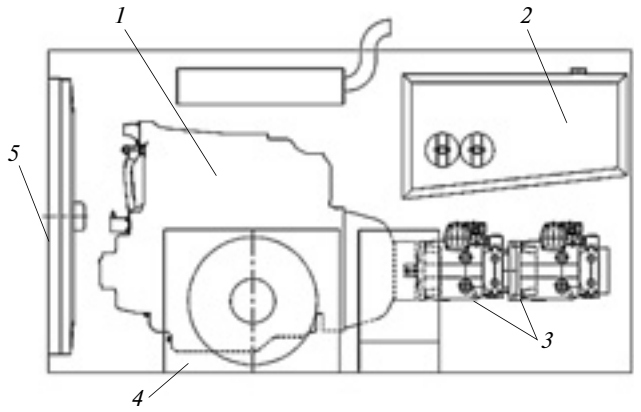


Рис. 3. Схема расположения на автопоезде основных узлов автономной насосной станции:

1 — ДВС; *2* — гидробак; *3* — гидронасосы; *4* — радиатор гидрообъемной трансмиссии; *5* — радиатор ДВС

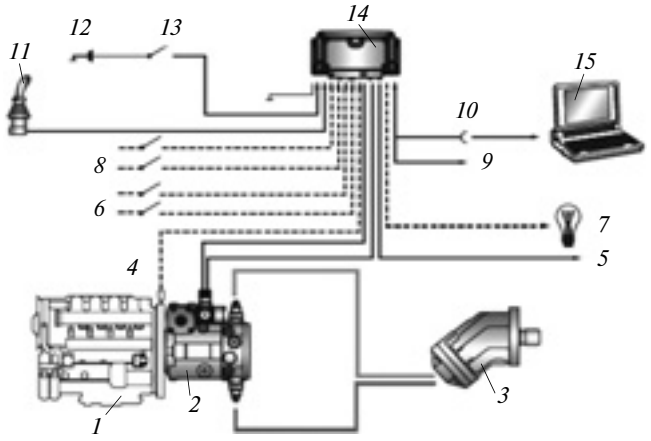


Рис. 4. Структурная схема САУ многоприводного транспортного средства с гидрообъемным приводом:

1 — ДВС; *2* — гидронасос; *3* — гидромотор; *4* — датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; *5* — сигнал запуска ДВС; *6* — управление передачей коробки передач; *7* — контрольная лампа максимальной скорости движения с активным прицепным звеном; *8* — управление направлением движения; *9* — интерфейс CAN-Bus; *10* — диагностический разъем RS232; *11* — джойстик управления; *12* — источник питания; *13* — замок зажигания; *14* — контроллер с программным обеспечением; *15* — диагностический портативный компьютер

автомобиля) прицепного звена; во втором — активный полуприцеп, но с гидрообъемной передачей и автономной насосной станцией (рис. 3), которая позволяет передавать крутящий момент от силовой установки на гидромоторы.

В основе этой станции — дизель мощностью 265 кВт (360 л.с.), раскручивающий два соосно расположенных регулируемых насоса общим рабочим объемом 360 см^3. Насосная станция обслуживает два нерегулируемых гидромотора, каждый из которых расположен на своей ведущей тележке полуприцепа. Рабочий объем мотора 500 см^3, выполнен он в сборе с двухступенчатым редуктором, который при необходимости может отключаться от моста. Для улучшения управляемости и маневренности автопоезда задняя ведущая тележка — поворотная.

Управление активным полуприцепом максимально автоматизировано, но предусмотрен и ручной режим управления, в этом случае водитель тягача работает с выносным пультом управления.

Такой активный полуприцеп, в принципе, может эксплуатироваться с любым серийным тягачом, подходящим по допустимой нагрузке на седло. Но его исследовали совместно с тягачом КамАЗ-44108.

В ходе этих исследований было установлено, что, как и следовало ожидать, для повышения основных показателей эффективности автопоезда с бесступенчатым приводом прицепного звена необходимо обеспечивать регулирование мощности, подводимой непосредственно к каждому колесу, и реализовать эту идею можно только с помощью автоматической системы управления. Потому что индивидуальное управление силовыми приводами колес многоосного автомобиля при нестабильных условиях движения представляет собой чрезвычайно сложную задачу, и водитель не в состоянии обеспечить требуемое качество управления. Но, к сожалению, общепринятых методов построения автоматических систем управления регулируемыми трансмиссиями пока еще не существует. Теория автоматического управления сложными мехатронными системами, к которым относится активный автопоезд, только формируется. Поэтому специалистами НАМИ была разработана структурная схема САУ (рис. 4) многоприводного транспортного средства с гидрообъемным приводом. Эта схема имеет три функциональных режима — ручной, силовой и кинематический.

Ручной режим — это режим непосредственного управления гидроприводом колес активного полуприцепа. Осуществляется он путем регулирования передаточного отношения: положение управляющего устройства задает величину управляющего тока, подаваемого на управляющие соленоиды регулируемых гидронасосов, определяя тем самым передаточное отношение гидрообъемного привода. Здесь очень важно выбрать такой способ регулирования, при котором КПД трансмиссии будет максимальным. Например, известно, что при последовательном способе регулирования (рис. 5) рабочие объемы насосов возрастают от нуля до максимума, после чего регулируются рабочие объемы гидромоторов, т. е. система управления получается достаточно простой. Однако значения КПД трансмиссии невысоки, поскольку оказываются далекими от максимальных. Поэтому в ходе исследований были разработаны комбинированный способ регулирования гидромашин и алгоритм его реализации, позволяющие получить наибольшие значения их КПД.

Суть предлагаемого способа заключается в следующем (рис. 6). Рабочий объем насоса при максимальном рабочем объеме гидромотора увеличивается до тех пор, пока суммарный КПД трансмиссии не достигнет

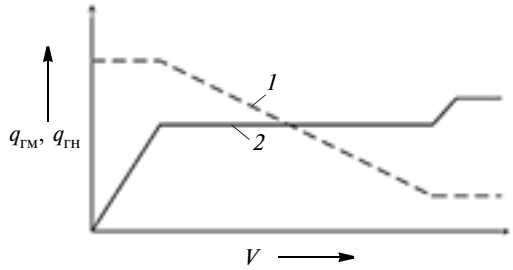


Рис. 5. Последовательный способ регулирования рабочих объемов гидромашин:

1 — гидромотор; *2* — гидронасос

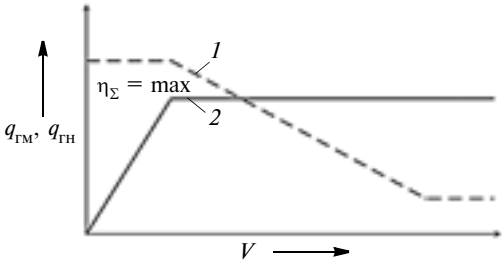


Рис. 6. Комбинированный способ регулирования рабочих объемов гидромашин: *1* — гидромотор; *2* — гидронасос

наибольшего значения. После этого ее передаточное отношение снижается за счет изменения рабочего объема гидромотора от максимального значения до минимального, сохраняя рабочий объем насоса неизменным. Дальнейшее уменьшение передаточного числа вновь будет связано с изменением рабочего объема насоса до максимального значения.

Силовой режим — это режим при котором основным параметром управления является сила тяги, реализуемая ведущими колесами активного полуприцепа, а регулирование гидрообъемного силового привода осуществляется по сигналу тензодатчика, расположенного в сцепном шкворне между тягачом и прицепным звеном.

В этом случае управляющим устройством задается рабочий диапазон тягового усилия, с которым должен передвигается автопоезд, т. е. входным параметром системы управления является заданный сигнал (вернее, диапазон его изменения) тензодатчика в сцепном шкворне, и по величине отклонения измеряемого тягового усилия от заданного диапазона формируется соответствующее управляющее воздействие на гидромашины.

Такой режим предусматривает движение автопоезда как с избыточным тяговым усилием, реализуемым активным полуприцепом (прицепное звено "подталкивает" тягач в тяжелых дорожных условиях), так и с усилием, необходимым только для преодоления прицепом его собственного сопротивления движению. Первому случаю соответствует рабочий диапазон в пределах отрицательных значений сигнала тензодатчика (выбирается при отклонении управляющего устройства), второму — в области нулевого значения сигнала тензодатчика.

Кинематический режим — это режим, при котором за основной параметр управления принята скорость движения автопоезда и регулирование привода осуществляется в зависимости от скорости вращения ротора гидромоторов, давления в гидромагистралях, угла наклона электронной педали управления "газом" двигателя тягача и частоты вращения коленчатого вала ДВС активного прицепа.

Основных принципов реализации кинематического режима два — для прямо- и криволинейного движения автопоезда. В первом режиме САУ должна обеспечить возможно более близкие значения частот вращения ведущих колес прицепа, благодаря чему уменьшается вероятность буксования ведущих колес с опорной поверхностью и, следовательно, связанная с этим возможность потери проходимости, а также потери энергии на непроизводительное буксование и вредное воздействие ведущих колес на почву при движении по бездорожью; во втором — САУ должна обеспечить требуемое отличие частот вращения ведущих колес, обусловленное их размерами и положением относительно мгновенного центра поворота АТС в данный момент времени, а также необходимый угол поворота управляемых колес. В результате улучшается маневренность автопоезда, уменьшается сопротивление его движению и снижается вредное воздействие на почву при движении по бездорожью.

Таким образом, реализуемые с таким подходом системы "адаптивного" управления трансмиссией в режиме реального времени оценивают основные показатели совместной работы системы "автомобиль—двигатель—трансмиссия—движитель—опорная поверхность", что позволяет получить максимальное повышение эффективности использования активных автопоездов при движении в тяжелых дорожных условиях.

УДК 629.33

НАДДУВ ДВС С РЕЗОНАНСНЫМ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ

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

Рассматривается нагнетатель двойного назначения, выполняющий как свою основную функцию — наддув ДВС, так и резонансное образование топливовоздушной смеси (ТВС).

Ключевые слова: *наддув в ДВС, топливовоздушная смесь, резонансные акустические колебания.*

Sviyazheninov E.D.
SUPERCHARGER OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH RESONANT FUEL-AIR FORMATION

The supercharger of a twofold purpose, performing its main function — supercharging internal combustion engine, and the resonant fuel-air mixture formation as well is considered.

Keywords: *supercharging internal combustion engine, fuel-air mixture, resonant acoustic vibrations.*

Наддув — один из самых распространенных способов повышения удельной мощности ДВС без увеличения его габаритных размеров. Поэтому конструкций нагнетателей (механизмов для сжатия и подачи воздуха в ДВС под давлением) существует достаточно много [1]. Но ни один из них, к сожалению, не выполняет функцию хорошего перемешивания воздуха с топливом. Хотя всем известно: состав топливовоздушной смеси существенно влияет на эффективность ее горения, а следовательно, на мощность и экономичность ДВС.

Чтобы устранить этот недостаток традиционных нагнетателей, автор предлагает наложить на воздух, подаваемый ими в ДВС, резонансные колебания. Дело в том, что такие колебания существенно улучшают качество топливовоздушной смеси: она оказывается более насыщенной кислородом на молекулярном уровне. Причем предлагает не только идею, но и устройство, ее реализующее (пат. № 2351406, РФ).

В этом устройстве объединены нагнетатель, выполненный в виде динамической радиальной сирены [2], т. е. довольно мощный источник акустических колебаний, и явления резонанса, как способ аккумуляции колебательной энергии. Композиционно это радиаль-

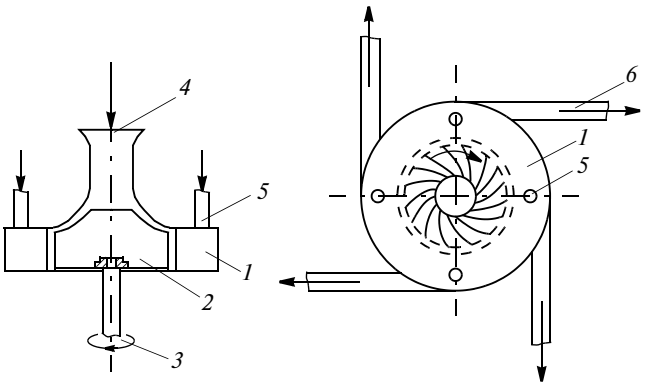


Рис. 1. Схема резонансного нагнетателя-диспергатора (продольный и поперечный разрезы):

1 — статор; *2* — ротор; *3* — привод; *4* — коллектор; *5* — форсунка; *6* — выходной патрубок

ная сирена, окруженная кольцевым акустическим резонатором. Но — доработанная: традиционная сирена генерирует стоячие в окружном направлении волны — осесимметричные и многоузловые колебания, в связи с чем толщина статора-резонатора, имеющего необходимую для решения рассчитываемой задачи собственную частоту, оказывается нереально большой. Чтобы этого избежать, для согласования частоты возмущения сирены и собственных частот колебаний резонатора нужна не стоячая, а бегущая в окружном направлении двухузловая волна. Именно она наиболее функциональна для перемешивания и измельчения частиц среды (топлива) до получения требуемой ее дисперсности, так как устраняются застойные зоны обработки, свойственные стоячим волнам, и осуществляется проточное движение генерируемого продукта.

Для возбуждения бегущей вращающейся волны разработан особый вид перфорации ротора. В результате в резонаторе легко возбуждается двухузловая в окружном направлении неосесимметричная волна собственных колебаний, имеющая наинизшие собственные частоты. Эта волна, в отличие от вырабатываемой традиционной сиреной стоячей волны, — бегущая. Скорость ее вращения во много раз превышает скорость вращения ротора. Более того, выбором перфорации ротора направление вращения волны может быть изменено на противоположное.

Подача воздуха осуществляется центробежным нагнетателем, содержащим ротор с крыльчаткой, лопасти которой располагаются между окнами. При таком исполнении ротор — не только средство нагнетания воздуха, который через окна ротора и статора подается внутрь кольцевого акустического резонатора, но и возбудитель вращающейся резонансной волны.

Резонансный нагнетатель, работающий на вращающихся волнах (рис. 1), содержит коаксильно установленный полый цилиндрический статор *1*, выполненный в виде кольцевого акустического резонатора, и вращающийся внутри него ротор *2* с крыльчаткой. В смежных поверхностях статора и ротора предусмотрены равномерно расположенные по окружности сквозные отверстия, число которых на статоре равно n, и на роторе — $(n - 1)$ или $(n + 1)$. Число n входит в кратность увеличения частоты вращения акустической волны относительно частоты вращения ротора, поэтому для достижения высокочастотных вибраций оно должно быть большим. Ротор равномерно вращается приводом *3*, в качестве которого может быть использован любой низкооборотный электродвигатель. Подвергаемый резонансной обработке воздух нагнетается через входной коллектор *4*. Он передает энергию колебаний топливовоздушной смеси. Эта смесь через выходные патрубки *6*, расположенные тангенциально на наружном радиусе статора и ориентированные в направлении бегущей волны (по ходу или против вращения ротора), подается в двигатель. Число патрубков может быть любым, но — достаточным для обеспечения распределенного впрыска.

Таким образом, топливо подается внутрь кольцевого резонатора. Воздух под действием резонансной высокочастотной вибрации активно перемешивается с топливом на молекулярном уровне. Одновременно осуществляется проточное движение формирующейся дисперсной системы топливовоздушной смеси.

Как видим, колебания газообразной смеси осуществляются в кольцевой цилиндрической полости — статоре. Но у традиционной сирены с одинаковой перфорацией ротора и статора осесимметричные собственные колебания сжимаемого газа в кольцевой полости имеют неограниченно возрастающие с уменьшением толщины собственные частоты основного тона (рис. 2, штриховая линия), что потребовало бы чрезмерного увеличения частоты вращения ротора и уменьшения шага перфорации (для увеличения числа отверстий в смежных поверхностях ротора и статора для достижения резонансной частоты возбуждения) и толщины резонатора (для снижения частоты основного тона осесимметричных колебаний). В связи с этим, повторяем, и целесообразно создавать в статоре резонансную бегущую двухузловую в тангенциальном направлении волну: собственная форма колебаний в кольцевой цилиндрической области имеет (см. рис. 2, сплошная линия) наинизшие собственные частоты колебаний из всех существующих, что и открывает путь к использованию резонанса в круговом кольцевом статоре небольшой толщины при доступных невысоких частотах вращения ротора и не слишком малом шаге перфорации. То есть при осуществлении резонанса для создания достаточно мощных импульсов возбуждения не требуется нагнетать обрабатываемую среду в резонатор под большим давлением, потому что даже при малом входном давлении в резонаторе вследствие синфазной подкачки и аккумуляции колебательной механической энергии в среде будут происходить интенсивные акустические вибрации.

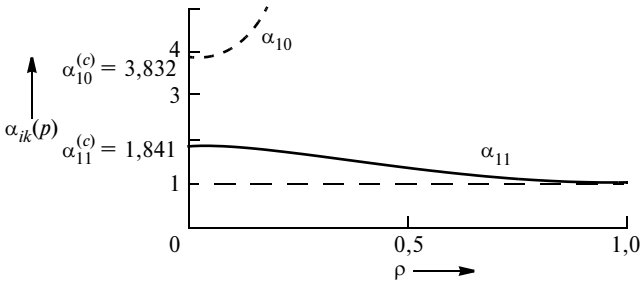


Рис. 2. Низшие собственные частоты неосесимметричных и осесимметричных колебаний кольцевого резонатора как функции отношения внутреннего радиуса резонатора к его наружному радиусу

Для рассматриваемого устройства выбран основной (низший) резонанс двухузловой формы колебаний, имеющий наименьшую частоту и обеспечивающий наибольшее усиление колебаний. Чтобы возбудить неосесимметричную бегущую резонансную волну, разработана нетрадиционная схема сирены, а именно: новый тип перфорации ротора и статора. Отверстия на них, как и при традиционной схеме, распределены равномерно в окружном направлении, но их число на роторе на единицу больше (для создания прямой, или попутной, бегущей волны, совпадающей с направлением вращения ротора) или на единицу меньше (для получения обратной, или встречной, волны, противоположной направлению вращения ротора), чем на статоре.

Работает устройство следующим образом.

При равномерном вращении ротора с угловой скоростью ω_p, на поверхности которого располагается $(n + 1)$ или $(n - 1)$ равномерно отстоящих друг от друга радиальных потоков воздуха, каждая из n щелей на поверхности статора поочередно испытывает пульсацию давления. Допустим, что в начальный момент одно отверстие на роторе и одно отверстие на статоре совпадают, т. е. импульс давления со стороны истекающего из ротора воздуха передается в резонатор статора. Очевидно, что при повороте ротора на угол $\delta = \frac{2\pi}{n(n+1)}$ (при прямой волне) или на угол $\delta = \frac{2\pi}{(n-1)n}$ (при обратной волне) импульс давления появится на соседнем по ходу или против вращения ротора отверстии резонатора. Потому что все последовательные углы между окнами ротора и статора образуют натуральную последовательность.

И он, данный импульс, обежит окружность в прямом или обратном направлении не за полный оборот ротора, а лишь при его повороте на угол $n\delta = \frac{2\pi}{(n+1)}$ или $n\delta = \frac{2\pi}{(n-1)}$. Причина — осевая симметрия геометрии ротора $(n + 1)$ или $(n - 1)$ порядка, т. е. при повороте на угол $\frac{2\pi}{(n+1)}$ или на $\frac{2\pi}{(n-1)}$ его фигура совмещается сама с собой.

Таким образом, угловая скорость ω вращения импульса давления на внутреннюю поверхность резонатора составляет $\omega = (n + 1)\omega_p$ в прямом и $\omega = (n - 1)\omega_p$ в обратном направлении.

Теперь перейдем от угловой скорости ω_p ротора к частотам его вращения (f) и колебаний (ν). В результате получается, что частота f вращения ротора *2* (см. рис. 1), равная $\frac{\omega_p}{2\pi}$, связана с частотой ν акустических колебаний статора *1*, равной $\frac{\omega}{2\pi}$, вполне определенным образом: для сирены на прямой бегущей волне — по формуле № 1 (см. табл. 1), а для сирены на обратной бегущей волне — формула № 2. Для резонансного возбуждения частота основной гармоники ν вынуждающей нагрузки, очевидно, должна быть настроена на частоту основного тона акустического резонатора, т. е. его низшую собственную частоту. И это же одновременно приводит к настройке высших гармоник нагрузки на обертоны резонатора в рассматриваемом устройстве.

Со стороны ротора на поверхность статора-резонатора действует быстровращающийся импульс избыточного давления. Его гармонический состав представляет собой натуральный ряд окружных гармоник, из которых наибольшую амплитуду в тангенциальном направлении имеет двухузловая (однопериодная) волна. Именно она и служит для возбуждения резонансной бегущей волны колебаний — однопериодной (двухузловой) в тангенциальном направлении синусоиды.

Амплитудно-частотная характеристика двухузловых колебаний вязкой теплопроводной сжимаемой газообразной среды (топливовоздушной смеси) в резонаторе показывает, что наибольшее усиление колебаний обеспечивает первый (основной) резонанс, который для кольцевого цилиндрического резонатора *1*, показанного на рис. 1, дает формула № 3. Входящая в нее функция $\alpha(\rho)$ — первый (низший) корень трансцендентного уравнения частот (формула № 4). Его зависимость от отношения ρ внутреннего радиуса резонатора к наружному R приведена на рис. 2 в виде сплошной линии.

На этом рисунке первый нижний индекс ("i") у функции $\alpha(\rho)$ обозначает, что это — i-й по порядку возрастания корень уравнения № 4, а второй индекс ("k") показывает число пар узлов (число узловых диаметров) возбуждаемой формы колебаний в тангенциальном направлении. Так, $i = 1$ соответствует первому (низшему) корню уравнения, $k = 1$ отвечает реализуемой в устройстве двухузловой (с одним узловым диаметром) собственной форме колебаний, тогда как $k = 0$ — осесимметричной, т. е. не зависящей от угловой координаты, форме. Кроме того, на рисунке есть верхний индекс "c", взятый в скобках, который говорит о том, что при $\rho = 0$ имеет место частный случай сплошного (без отверстий) резонатора. Этот рисунок подтверждает, что собственные частоты осесимметричных колебаний с ростом ρ неограниченно увеличиваются (штриховая линия), тогда как частоты двухузловых — наоборот, монотонно убывают, асимптотически приближаясь к $\alpha = 1$. Что и требуется для согласования сирены-возбудителя с акустической камерой-резонатором.

Таблица 1

№ формулы	Формула	Примечания
1	$f = \frac{\nu}{n+1}$	ν — частота акустических колебаний статора; n — число перфораций в статоре
2	$f = \frac{\nu}{n-1}$	—
3	$\nu = \frac{\alpha(\rho)}{2\pi}\frac{c}{R}$	$\alpha(\rho)$ — первый (низший) корень трансцендентного уравнения частот; c — скорость звука в газе, заполняющем резонатор; R — наружный радиус резонатора
4	$\frac{J_1'(\alpha\rho)}{J_1'(\alpha)} = \frac{N_1'(\alpha\rho)}{N_1'(\alpha)}$	$J_1'(\alpha)$, $N_1'(\alpha)$ — первые производные функций Бесселя и Неймана

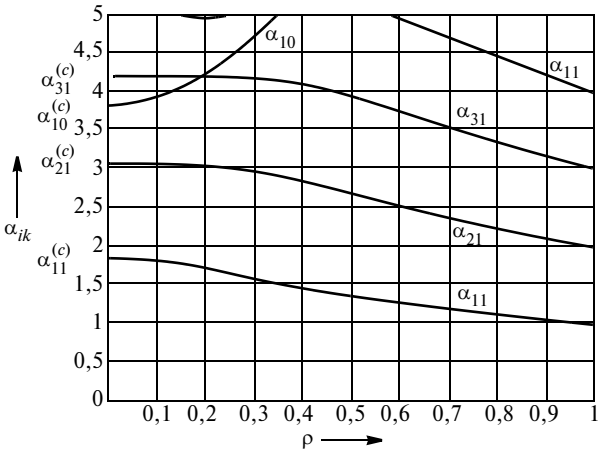


Рис. 3. Решения уравнения частот кольцевого резонатора как функции отношения внутреннего радиуса к наружному

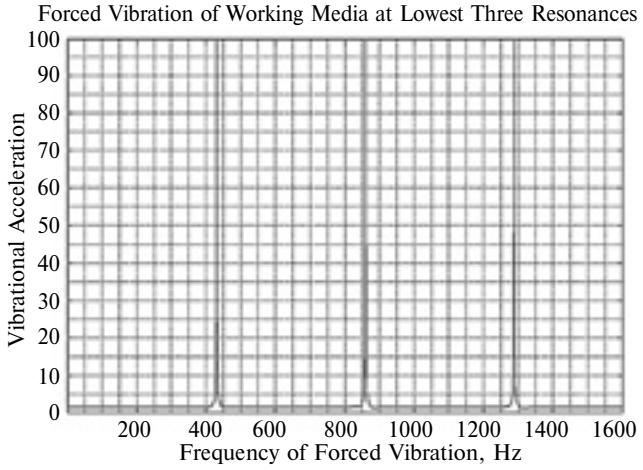
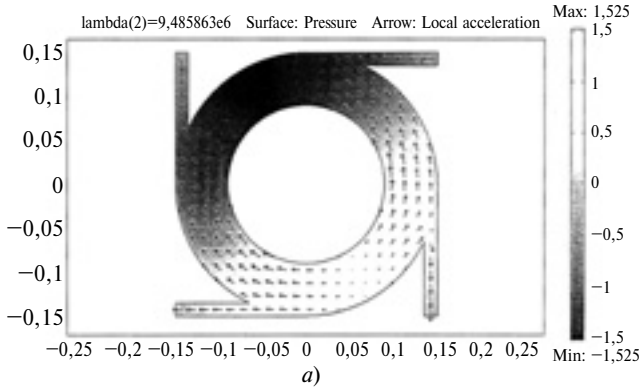
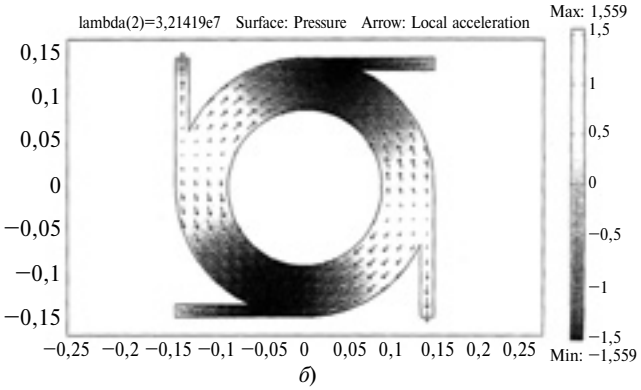


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика вынужденных акустических колебаний статора, включающая три низших резонанса





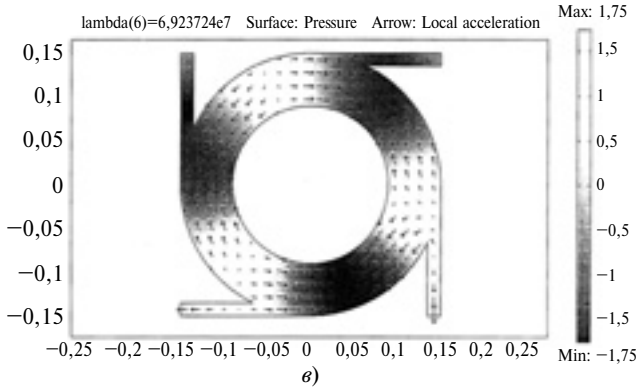


Рис. 5. Эпюры физических величин, характеризующих происходящие в статоре процессы резонансных акустических колебаний топливовоздушной смеси на трех низших резонансах:

а — первый резонанс; *б* — второй резонанс; *в* — третий резонанс

Автор построил точные решения уравнения № 4 частот кольцевого резонатора как функции отношений ρ внутреннего радиуса к наружному (рис. 3), необходимых для определения собственных частот колебаний. Для ρ > 0,5 распределение спектра собственных частот с увеличением числа k узловых диаметров (k = 1, 2, 3, ...) — равномерное. Это видно и из АЧХ (рис. 4), на которой резонансные частоты образуют натуральную последовательность. Тогда, настроив основную частоту нагрузки на частоту основного тона, автоматически получаем и настройку высших гармоник нагрузки на обертоны резонатора.

Итак, обеспечив условие выполнения резонанса в статоре, получаем одновременное протекание двух процессов в нем: резонансных акустических вибраций и течения топливовоздушной смеси (см. рис. 4). Эпюры соответствующих этим процессам колебательных давлений и ускорений приведены на рис. 5, а скоростей течений — на рис. 6. Как видим, скорости течений содержат области повышенных скоростей, направленных в сторону выходных патрубков. Именно в этих зонах расположены форсунки для подачи дисперсной фазы в кольцевой резонатор. Наложение на течение резонансной вибрации и является механизмом производства высококачественной дисперсной системы — топливовоздушной смеси.

Для проектного анализа и расчета конструктивных параметров устройства по приведенным выше расчетным формулам построены номограммы нагнетателя-диспергатора (рис. 7), по которым легко подбирать его основные конструктивные параметры: резонансные частоты колебаний обрабатываемой дисперсной сис-

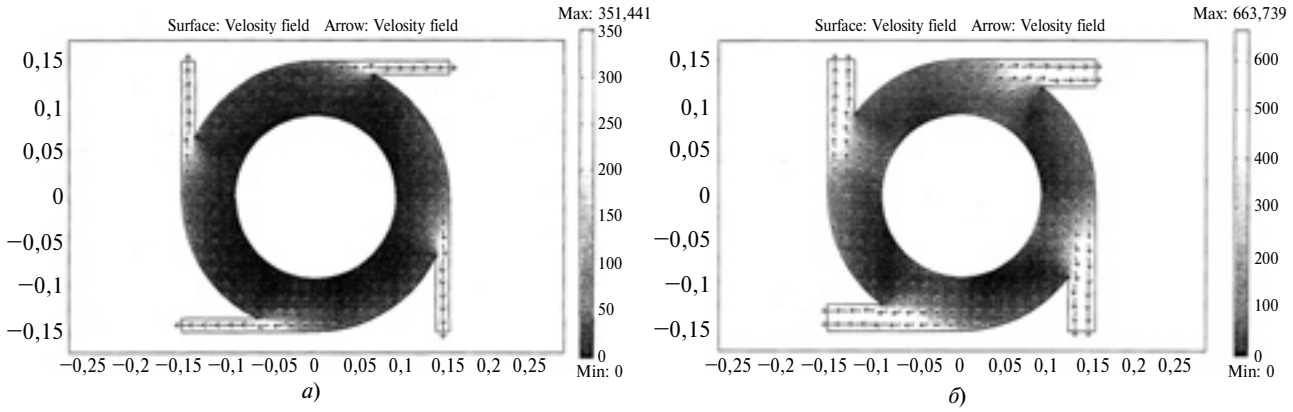


Рис. 6. Эпюры физических величин, характеризующих происходящие в статоре процессы течения топливовоздушной смеси для двух поперечных сечений выходных патрубков:
а — малого; *б* — большого

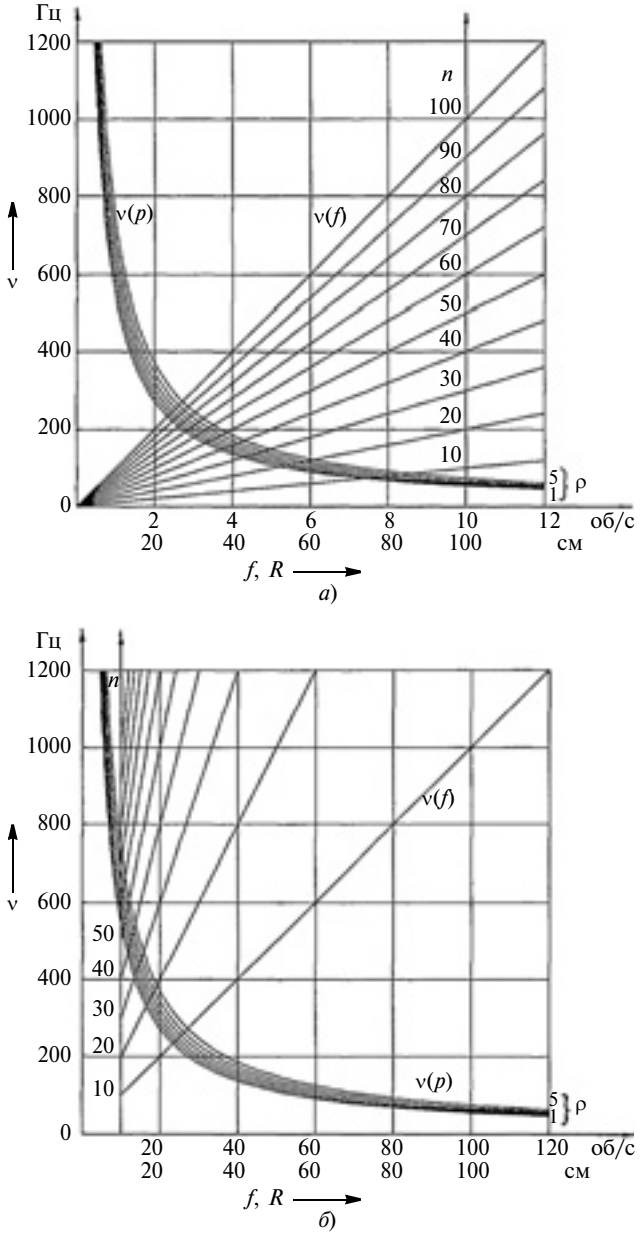


Рис. 7. Номограммы конструктивных параметров устройства:
а — для частот вращения ротора до 12 об/с; *б* — для частот вращения ротора до 120 об/с

темы, частоты вращения ротора, наружный и внутренний радиусы статора (резонансной камеры) и число окон в нем. Например, если задаться резонансной частотой ν колебаний и отношением ρ внутреннего и внешнего радиусов резонатора, то по кривой ν(*R*) легко определить соответствующий наружный радиус *R*, а по семейству прямых ν(*f*) — подобрать комбинацию перфорации *n* и частоту *f* вращения ротора. Из номограмм видно, что параметры сирены реализуются легко. Так, в качестве привода вполне можно использовать самые распространенные низкооборотные электродвигатели.

Рассмотрим пример расчета параметров нагнетателя-диспергатора. Будем считать, что обрабатываемой средой является топливовоздушная смесь. Требуется возбудить резонансную частоту ν ее обработки, например, равную 500 Гц. Отношение внутреннего радиуса к наружному равно 0,5. Тогда по кривой ν(*R*) (см. рис. 7) находим необходимый наружный радиус *R* резонаторной камеры: он равен 15 см. По семейству прямых ν(*f*) или по формулам № 3 и 4 получаем возможные комбинации числа отверстий статора *n* и частоту *f* вращения ротора (табл. 2).

Таблица 2

Параметр	Значения параметра									
n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f, c^{-1}, при прямой бегущей волне	46	24	16	12	10	8	7	6	6	5
f, c^{-1} при обратной бегущей волне	56	26	17	13	10	8	7	6	6	5

Таким образом, благодаря увеличению частоты ν вращения акустической волны относительно частоты *f* вращения ротора в ($n \pm 1$) раз и возбуждению низкочастотных двухузловых собственных форм колебаний кольцевого резонатора достигаются резонансные режимы в статоре при самых небольших частотах *f* вращения ротора. Что дает весьма простое и надежное эффективное устройство для получения высококачественных дисперсных систем — топливовоздушных смесей.

Литература

1. Автомобильный справочник BOSH. М.: Изд-во "За рулем", 2012. — 1280 с.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. — 726 с.

УДК 629.113

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРСТИК АВТОМОБИЛЯ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ ПЕРЕДАЧ ИЗМЕНЕНИЕМ МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ

Д-р техн. наук **Д.Г. ДРАГУНОВ**, **И.А. ЛОСКУТНИКОВ**
Южно-Уральский ГУ (351. 267-94-41)

Рассмотрены динамические характеристики серийного автомобиля высокой проходимости при переключении передач и способ их улучшения за счет изменения межосевого расстояния в раздаточной коробке.

Ключевые слова: *раздаточная коробка, переключение передач, динамическая характеристика, межосевое расстояние.*

Dragunov D.G., Loskutnikov I.A.
DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS VEHICLE TRAIL WHEN SHIFTING GEARS CHANGE SPACING

Dynamic characteristics of the vehicle high cross when transfer gear change center distance and methods of its improve by change of central distance are considered.

Keywords: *transfer gear, transfer gear, dynamic response, center distance.*

Для полноприводных автомобилей, эксплуатируемых в сложных дорожных условиях, их тягово-динамические характеристики являются основными условиями проходимости. И одним из конструктивных решений, улучшающих эти характеристики, считается раздаточная коробка, встроенная в трансмиссию. Однако ее эффективность зависит от динамики переключения передач в ней. В связи с чем поиск путей улучшения динамики был и остается одной из задач раздаточных коробок.

Но ведется он, как правило, методом проб и ошибок. Поэтому авторы решили попытаться теоретически обосновать направления данного поиска. Для чего они взяли серийный полноприводный автомобиль "Урал-4320" и предположили, что он движется прямолинейно, равноускоренно (с ускорением $j = 0{,}55$ м/с^2) на первой передаче в коробке передач; условия этого движения — сложные: коэффициент f сопротивления качению составляет 0,06 (соответствует сырому суглинку) [1]. На скорости v = 10 км/ч этот коэффициент мгновенно возрастает до 0,21, т. е. в 3,5 раза.

В качестве математической модели, описывающей поступательное движение в направлении вектора скорости, можно принять уравнение основного закона динамики [2] (второго закона Ньютона), т. е. формулу № 1 (см. таблицу).

Если "раскрыть" правую часть этого уравнения, то, исходя из рис. 1, получается формула № 2.

Математической моделью, описывающей вращательное движение колеса автомобиля, будет уравнение моментов относительно его оси (формула № 3), откуда вытекает формула № 4 для R_x.

И так как при любых режимах качения колеса отношение $a/r_д$ есть не что иное, как коэффициент f сопротивления качению, то из формулы № 4 можно вывести формулу № 5. Крутящий момент M, подводимый к ведущим колесам от двигателя (рис. 2), дает формула № 6. Но при установившемся движении автомобиля второй ее член равен нулю, т. е. формула № 6 становится формулой № 7.

Для расчета принимаем, что значения крутящего момента $M_д$ и мощности N_e ДВС равны максимальным для автомобиля "Урал-4320" (рис. 3), т. е. $M_д = 515{,}9$ Н · м, $N_e = 1241$ кВт.

Момент, подводимый к ведущим колесам с учетом формулы № 6, запишется в виде формулы № 8.

При прямолинейном движении ускорение j автомобиля равно линейному ускорению колеса, т. е. соответствует формуле № 9.

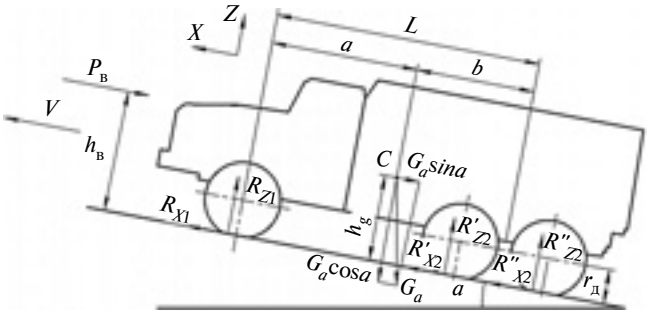


Рис. 1. Расчетная схема сил, действующих на автомобиль "Урал-4320" в общем случае движения

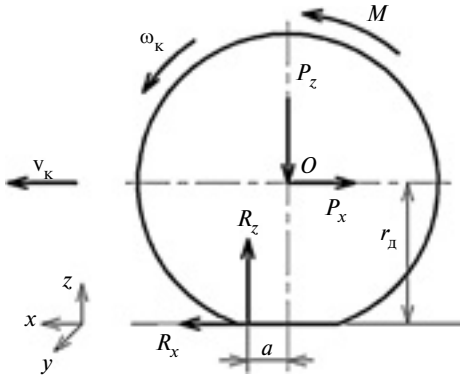


Рис. 2. Схема сил и момента, действующих на ведущее колесо

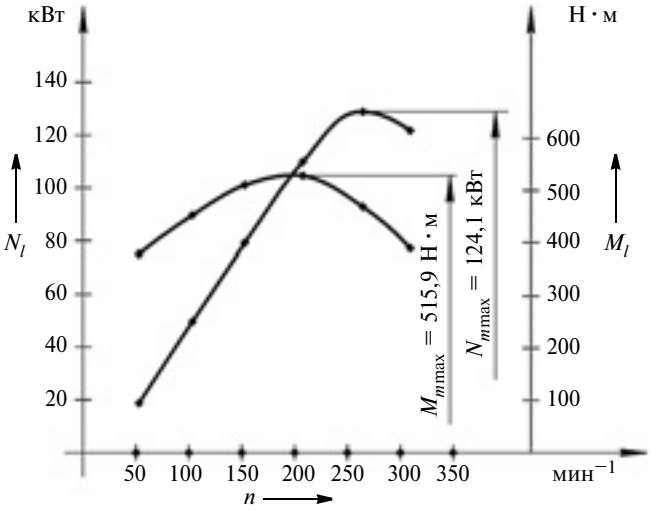


Рис. 3. Внешняя скоростная характеристики двигателя автомобиля "Урал-4320"

Теперь рассмотрим тяговый режим.

Крутящий момент подводится к колесу через полуось, и его направление совпадает с направлением вращения колеса. Поэтому, подставляя в формулу № 3 вместо M правую часть формулы № 8, получим формулу № 10 для касательной реакции R_x. (Для ведущего колеса касательная реакция $R_x > 0$ и направлена в сторону движения.) Для полноприводного автомобиля, учитывая формулы № 2 и 10, можно записать уравнение № 11, решая которое относительно $P_к = P_{к_1} + P_{к_2}$, запишем формулу № 12.

Для автомобиля "Урал-4320" $P_в = kFv^2 = 0{,}15 \times 7 \times \times 1{,}8^2 = 3{,}4$ Н; суммарный момент инерции колес $\Sigma I_к = \Sigma I_{к_1} + \Sigma I_{к_2} = 120$ Н · м · с^2; $R_{Z1} = 42{,}17$ кН; $R_{Z2} = 117{,}138$ кН. И так он движется без пробуксовки колес, то $r_д = 0{,}539$ м. Тогда $P_{к_1} = 519{,}152$ кН.

Силу же $P_{сц}$ сцепления дает, как известно, формула № 13. Так что для движения на сыром суглинке эта сила равна 153,447 · 0,38 = 58,30986 кН.

№ формулы	Формула	Примечания
1	$m_а \frac{dv}{dt} = \Sigma F_x$	$m_а$ — поступательно движущаяся масса автомобиля; $\frac{dv}{dt}$ — ускорение его центра масс; ΣF_x — сумма проекций всех внешних сил, приложенных к нему, на ось X
2	$m_a \frac{dv}{dt} = R_{x_1} + R_{x_2} - P_в - P_\alpha$	R_{x_1}, R_{x_2} — реакции опорной поверхности на передней и задней осях автомобиля; $P_в$ — сила сопротивления воздушной среды; P_α — сила сопротивления дорожных подъемов
3	$I_к = \frac{d\omega_к}{dt} = M - R_x r_д - R_z a$	$I_к$ — момент инерции колеса; $\omega_к$ — угловая скорость вращения колеса; M — момент, подводимый к колесу от двигателя; R_x— реакция опорной поверхности, действующая на колесо по оси X; $r_д$ — динамический радиус колеса; R_z — нормальная реакция, действующая на колесо; a — плечо реакции R_z
4	$R_x = \frac{M}{r_д} - \frac{R_z a}{r_д} - \frac{I_к}{r_д}\frac{d\omega_к}{dt}$	$\frac{a}{r_д} = f$
5	$R_x = \frac{M}{r_д} - R_z f - \frac{I_к}{r_д}\frac{d\omega_к}{dt}$	—
6	$M = M_д i_{тр}\eta_{тр} - I_т i_{тр}^2 \eta_{тр}\frac{d\omega_к}{dt}$	$M_д$ — крутящий момент двигателя; $i_{тр}$ — передаточное число трансмиссии; $\eta_{тр}$— ее КПД; $I_т$ — момент инерции трансмиссии
7	$M = M_д i_{тр}\eta_{тр}$	—
8	$M = M_д - I_т i_{тр}^2 \eta_{тр}\frac{d\omega_к}{dt}$	—
9	$j = \frac{dN}{dt} = \frac{dv_к}{dt} = r_к\frac{d\omega_к}{dt}$	$r_к$ — радиус качения колеса
10	$R_x = P_к - R_z f - \frac{I_т i_{тр}^2\eta_{тр} + I_к}{r_д r_к}\frac{dN}{dt}$	$P_к = \frac{M_к}{r_д}$ — тяговая сила
11	$m_а\frac{dv}{dt} = P_{к_1} - R_{z_1}f - \frac{I_т i_{тр}^2\eta_{тр}}{r_д r_к}\frac{dv}{dt}\frac{\Sigma I_{к_1}}{r_д r_к}\frac{dv}{dt} + P_{к_2} - R_{z_2}f - \frac{I_т i_{тр}^2\eta_{тр}}{r_д r_к}\frac{dv}{dt} - \frac{\Sigma I_{к_2}}{r_д r_к}\frac{dv}{dt} - P_в - P_\alpha$	—
12	$P_к = (R_{z_1} + R_{z_2})f + P_в + m_а\frac{dv}{dt}\left(1 + \frac{2 I_т i_{тр}^2\eta_{тр}}{r_д r_к m_а} + \frac{\Sigma I_к}{r_д r_к m_а}\right) + P_\alpha$	—
13	$P_{сц} = P_\varphi = R_z\varphi$	φ — коэффициент сцепления
14	$\Pi = 1 - \frac{M_\psi}{M_\varphi}$	M_ψ — момент сопротивления движению; M_φ — момент по сцеплению, реализуемый на колесах

Очевидно, что равномерное движение автомобиля при малых скоростях на низшей передаче без буксования возможно только при выполнении условия $P_f \le P_к \le P_{сц}$. В нашем случае сила P_f сопротивления качения равна $R_z f = 159{,}308 \cdot 0{,}21 = 53{,}0496$ кН. Таким образом, получается: 53,0496 > 51,9152 > 58,30986. То есть условие не выполняется: автомобиль может двигаться только с пробуксовкой колес. Следовательно, водитель, реализовав, таким образом, тяговые свойства автомобиля на первой передаче в коробке передач, чтобы замедлить движение, должен включить понижающую передачу в раздаточной коробке. Однако в случае серийной раздаточной коробки он может это сделать, только остановив автомобиль. Хотя, казалось бы, нужды в остановке нет: моменты, действующие на серийный механизм переключения передач со стороны трансмиссии и силовой установки, при переключении на ходу не превышают максимальных моментов при трогании автомобиля с места. Более того, максимальный момент, действующий при переключении передач на ходу, не только не превышает пикового момента при трогании, а в 1,8 раз меньше. Однако в момент включения передачи на ходу усилие воспринимается не всей рабочей поверхностью механизма, а лишь ее частью, поэтому напряжения в зоне контакта оказываются сопоставимы. Кроме того, при рассогласовании блокируемых деталей более 20 % усилия привода управления раздаточной коробкой оказывается недостаточны для полного ввода в зацепление зубьев муфты, из-за чего идет интенсивное изнашивание трущихся между собой деталей.

Этот факт заставляет сделать вывод о необходимости установки в механизм переключения устройства, не позволяющего соприкасаться деталям до выравнивания их угловых скоростей. То есть играющие примерно ту же роль, что и синхронизаторы в коробке передач, или хотя бы сокращающие время переключения передач в коробке.

Характер изменения скорости движения автомобиля на рассматриваемом участке за время переключения в раздаточных коробках с повышающей (РК-II) передачи на понижающую (РК-I) показан на рис. 4. Из него видно: время, за которое водитель остановит

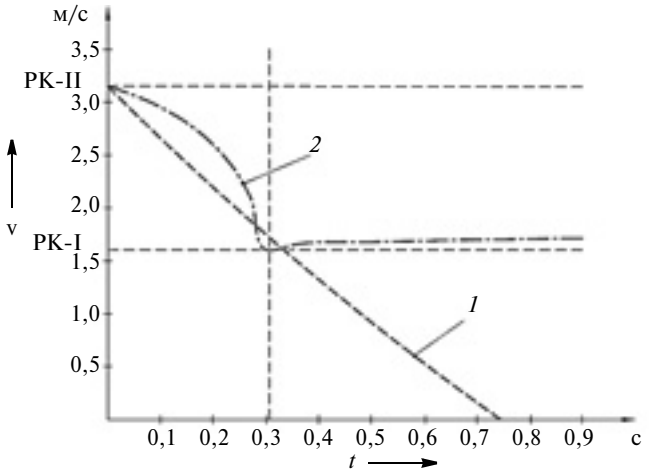


Рис. 4. Изменение скорости движения автомобиля "Урал-4320" при переключении серийной (1) и измененной (2) раздаточных коробок ($M_д$ = 638 Н·м)

автомобиль "Урал-4320" с серийной раздаточной коробкой, включит передачу РК-I и продолжит движение, составляет (кривая *1*) 3,75 с при $f = 0{,}21$. За это время коэффициент f сопротивления, за счет погружения колес в сырой суглинок, возрастет до 0,38. Но при таком значении f дальнейшее движение без уменьшения давления в шинах будет невозможным. И чтобы снизить его, тоже уйдет некоторое время. Но тот же автомобиль "Урал", оснащенный раздаточной коробкой, потеряет (кривая *2*) всего лишь 0,3 с. За это время коэффициент f сопротивления качению возрастет до 0,2182, но при этом сила $P_к$ тяги автомобиля за счет увеличения передаточного числа трансмиссии тоже возрастет и будет равна 56,125 кН.

Теперь приведенное выше условие примет такой вид: 53,0496 < 56,1252 < 58,30986. То есть оно выполняется (автомобиль движется без пробуксовки). И причина тому одна: когда автомобиль попадает на сложный ($f = 0{,}04$) участок дороги, водитель переводит раздаточную коробку с понижающей передачи на повышающую за время $t = 0{,}3$ с. При этом коэффициент П проходимости автомобиля, подсчитываемый по формуле № 14, в случае переключения передач на ходу оказывается выше, чем в случае их переключения с остановкой: механизм устройства переключения не позволяет соприкасаться деталям до выравнивания их угловых скоростей. То есть играющих примерно ту же роль, которую в коробках передач играют синхронизаторы. Или хотя бы сокращающих время переключения передач в раздаточной коробке движущегося автомобиля.

Действительно, если обратиться к режиму движения автомобиля "Урал-4320", о котором сказано в начале статьи, то водитель, чтобы продолжить движение после того, как скорость достигла 10 км/ч, должен перейти с повышающей (РК-II) передачи на понижающую (РК-I). Другие способы показали: при v = 10 км/ч коэффициент f сопротивления качению достигает 0,21, и колеса начинают буксовать. Чтобы продолжить движение, водитель должен остановить машину и включить понижающую передачу в раздаточной коробке. На это уходит ~3,75 с. За это время коэффициент f возрастает до 0,38, так как колеса успевают погрузиться в сырой суглинок. При этом значении коэффициента сопротивления качению дальнейшее движение автомобиля без уменьшения давления в шинах невозможно. Чтобы его снизить, тоже требуется некоторое время. Если же время переключения передач в раздаточной коробке довести до 0,3 с и обойтись без остановки, коэффициент f возрастет лишь до 0,2182. Кроме того, сила тяги автомобиля за счет увеличения передаточного числа трансмиссии возрастет до $P_к = 56{,}125$ кН.

Теперь приведенное выше условие примет вид: 53,0496 < 56,1252 < 58,30986. То есть оно выполняется (автомобиль движется без пробуксовки колес).

В этом случае водитель, автомобиль которого попал на сложный (с $f = 0{,}04$) участок пути, на ходу за 0,3 с переходит на повышающую передачу в раздаточной коробке.

Коэффициент П проходимости подсчитывается по формуле № 14. Его значения подтверждают целесообразность переключения передач в раздаточной ко-

робке именно в процессе движения и автомобиль способен преодолевать в 1,38...2,09 раза большие сопротивления движению. Кроме того, скорость движения в условиях, требующих переключения на ходу, увеличивается в 1,10...1,41 раза. Это достигается за счет использования кинетической энергии поступательного движения автомобиля и ходовой части его вращающихся масс (деталей трансмиссии) что, в свою очередь, приводит к снижению требований по тяговому усилию и сцеплению ведущих колес с опорной поверхностью [3, 4].

Литература

1. Бабков В.Ф., Бируля А.К., Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту. М.: Автотрансиздат, 1959. — 208 с.
2. Галимзянов Р.К. Тяговый расчет автомобиля с механической трансмиссией: учебник. Челябинск: изд-во ЮурГУ, 1998. — 42 с.
3. Семендяев К.Н. Новая раздаточная коробка для полноприводных АТС // Автомобильная промышленность. 2000. № 8. С. 14—15.
4. Семендяев К.Н. Способ повышения проходимости переключения передач в раздаточной коробке движущегося автомобиля: сб. тр. Конструирование и эксплуатация наземных транспортных машин. Челябинск: ЮурГУ, 2002. С. 9—14.

УДК 629.3.028

НОВЫЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ АВТОПОЕЗДОВ[1]

Д-р техн. наук **Е.В. СЛИВИНСКИЙ**, канд. техн. наук **С.Ю. РАДИН**, канд. пед. наук **И.Н. ГРИДЧИНА**, **Е.В. ПАХОМОВА**

Агропромышленный институт, Елецкий ГУ имени И.А. Бунина (07467. 6-40-84)

Третье, не менее интересное перспективное сцепное устройство для легковесных автопоездов показано на рис. 4 (пат. № 2397883 РФ). Оно состоит из кронштейна *14*, объединенного с нижней *15* частью шаровой головки и снабженного фиксаторами *13*, которые расположены в углублениях *1*, выполненных в верхней *5* ее части головки. Нижняя часть головки имеет стержень *11* с помощью длиноходовой резьбы *3* связанный с ответной резьбой, выполненной в верхней *2* части головки, где есть отверстие *7* квадратного сечения, взаимодействующее с пальцем *6*, подвижно установленным в дышле *4* и подпружиненным пружиной *5*. Этот палец снабжен рычагом *8*, имеющим впадину *9*, контактирующую с фиксатором *10*, установленным на дышле *4*.

Работает тягово-сцепное устройство следующим образом.

Для расцепки автомобиля-тягача и прицепа необходимо установить автопоезд на ровной горизонтальной площадке и одной рукой надавить на палец *6*, затем перемещать его по стрелке *A* до тех пор, пока он не войдет в отверстие *9* квадратного сечения. И после этого повернуть рычаг *8* в направлении против часовой стрелки относительно оси *YY* устройства на угол 180°. Благодаря этому верхняя часть *2* шаровой головки получает возможность провернуться по стрелке *B*, а так как она с помощью длиноходовой резьбы *3* связана с нижней частью *5* головки, то, преодолев сопротивление угловому повороту фиксатора *1*, будет свинчиваться со стержня *11* в направлении, обратном стрелке *A*, и совместно с дышлом *8* перемещаться в этом же направлении. Как только она покинет резьбы пальца *6*, автопоезд рассоединен.

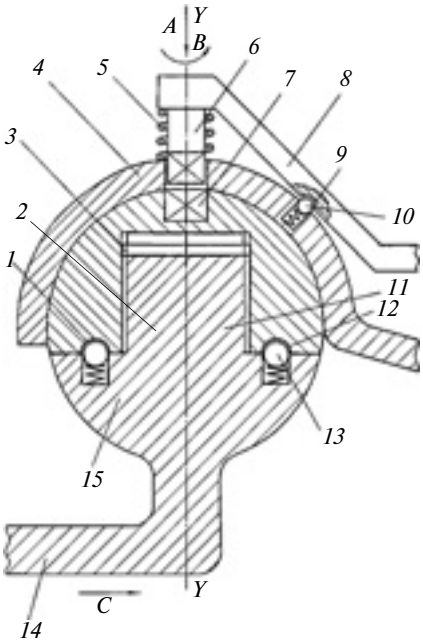


Рис. 4. Схема тягово-сцепного устройства по пат. № 2397883 РФ:

1, 12 — углубление; *2* — верхняя часть шаровой головки; *3* — длиноходовая резьба стержня; *4* — дышло; *5* — пружина; *6* — палец; *7* — отверстие; *8* — рычаг; *9* — впадина; *10, 13* — фиксатор; *11* — стержень; *14* — кронштейн; *15* — нижняя часть шаровой опоры

Сцепка звеньев автопоезда осуществляется так. Автомобиль задним ходом подают по стрелке *C*. Как только нижняя часть *15* шаровой головки (вернее, ее стержень *11*) окажется под верхней частью *2* этой головки, последнюю совместно с дышлом опускают так, чтобы резьбовые поверхности обеих *2* и *15* частей совпали. Потом рычаг *8*, предварительно переместив по стрелке *A* палец *6* до входа его во впадину *9*, поворачивают в направлении, обратном стрелке *B*. Это обеспечивает вращение верхней части *2* шаровой головки и тем самым ее закручивание на стержень *11*. Как только резьба деталей *2* и *15* будет выбрана до конца, фиксаторы *13* входят в углубление *1* и надежно скрепляют между собой обе эти части, а палец *6* под действием пружины *5* совместно с рычагом *8* занимают положение, при котором рычаг *8* зафиксирован от поворота. Самопроизвольный расцеп этого устройства, как показывает анализ, может произойти только в том случае, если в кинематической пары "дышло—верхняя часть шаровой опоры" возникает окружная сила трения, момент которой превысит удерживающий момент сил сопротивления, создаваемых фиксаторами. Что, в принципе, возможно лишь при наличии "сухого" трения в данной паре, но — маловероятно.

Чтобы убедиться в этом, проведем численный расчет таких нагрузок для того же автопоезда. Для чего воспользуемся расчетной

[1] Продолжение. Начало. См. "АП". 2014. № 12.

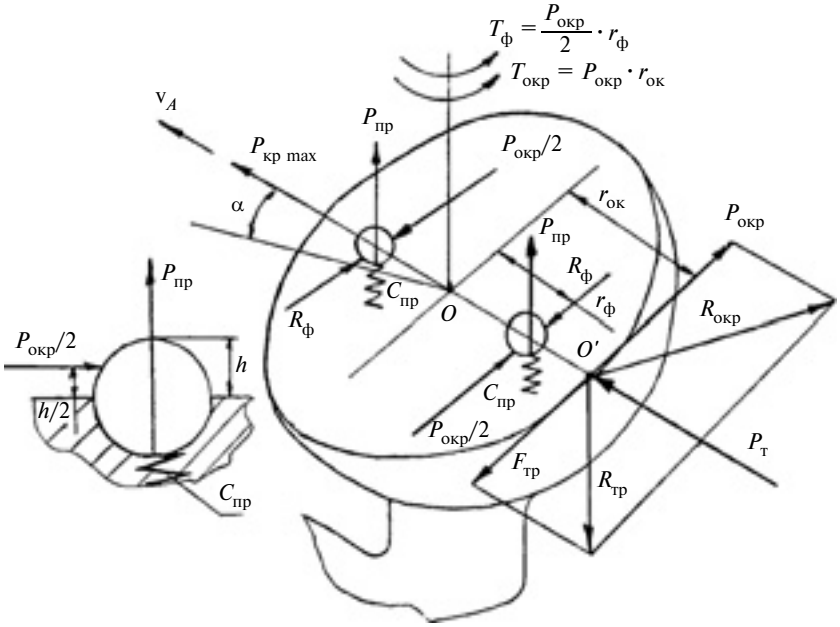


Рис. 5. Расчетная схема устройства, схема которого показана на рис. 4

схемой, представленной на рис. 5. Максимально допускаемая скорость движения автопоезда $v_{a\ max}$ — 80 км/ч (22,2 м/с), расчетная нагрузка $P_{кр\ max}$ = 850 Н, тяговое усилие на сцепке в момент трогания автопоезда с места $P_т$ = 2500 Н, тормозная сила $P_{тор}$ = 1175 Н, коэффициент трения в паре f = 0,15.

Очевидно, что при торможении автопоезда возможен угловой поворот верхней части шаровой опоры, который может привести к расцепу опорно-сцепного устройства. Этот поворот будет способствовать возникновению окружной силы $P_{окр}$, которая по величине будет больше силы трения $F_{тр}$, возникающей между дышлом и зафиксированной верхней частью шаровой опоры относительно нижней части и равной произведению $P_{тор}f = 117{,}5 \cdot 0{,}15 = 176$ Н.

Таким образом, каждый из фиксаторов будет нагружен силой $F_{тр}/2$ = 88 Н.

В первом приближении будем считать, что рабочая нагрузка $P_{пр}$ на пружину должна быть несколько больше 88 Н и способна вызвать ее упругую деформацию, достаточную для срабатывания фиксаторов. Таким условиям соответствует пружина со следующими характеристиками [2]: наружный диаметр D — 10 мм, диаметр d проволоки витка 2 мм, шаг h — 4 мм, высота H — 16 мм, рабочая нагрузка $P_{пр}$ — 140 Н, материал — сталь 60С2.

Данные характеристики гарантируют надежность сцепки тягача с прицепом. Отказ в сцепке может также произойти в том случае, когда пружины фиксаторов по той или иной причине оказываются полностью сжатыми, а максимальная нагрузка $P_{окр}$ столь велика, что способна срезать шарик фиксатора по поперечному сечению.

Чтобы исключить такой вариант, авторы выбрали шарик, сечение которого в плоскости возможного среза равно 6 мм, и тогда касательные напряжения в этом сечении определятся по формуле № 10. Расчет по ней дает τ = 3,2 МПа. Но известно, что допускаемое напряжение $[\tau_{ср}]$ для стали ШХ15, из которой изготавливают тела качения для подшипников качения, составляет 36 МПа. Значит запас прочности шарика равен 11,3. Следовательно, условие прочности даже перевыполнено, т. е. саморасцеп автомобиля-тягача и прицепа полностью исключен.

Четвертая конструкция тягового сцепного устройства (пат. № 2290322 РФ) показана на рис. 6. В ее состав входят кронштейн *13* тягово-сцепного устройства автомобиля, выполненный за одно целое с нижней частью *14* шаровой головки, которая имеет круговой выступ *2*, расположенный в круговой впадине *5* верхней части *4* головки, и стержень *16*, расположенный в отверстии *6* нижней части шаровой головки. На стержне *16* предусмотрен паз *14*, в котором размещен кулачок *3* двуплечего рычага, шарнирно установленного на оси *8* и связанного с помощью шарнира *10* с тягой *12*, установленной в продольном канале *11* кронштейна. Продольный канал, в свою очередь, сопряжен с вертикальным каналом *9* в нижней части шаровой головки. Верхняя часть шаровой головки подвижно размещена в корпусе *1* дышла прицепа. Тяга *12* вторым своим концом шарнирно соединена с двуплечим рычагом, установленном в салоне автомобиля.

Работает тягово-сцепное устройство следующим образом.

Для расцепа автопоезда водитель, распустив фиксатор двуплечего рычага, расположенного в кабине, поворачивает его на себя, что обеспечивает движение тяги *12* в направлении движения автопоезда. А так

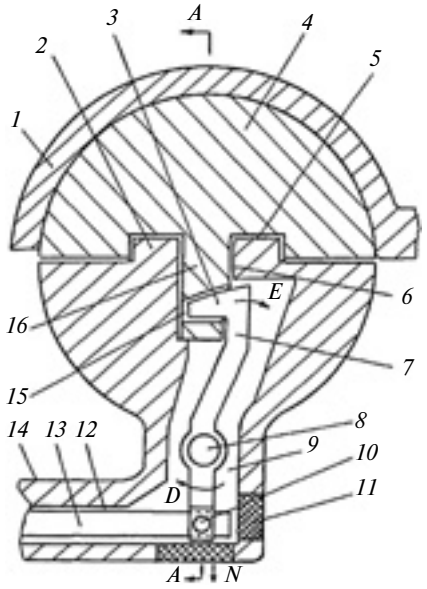


Рис. 6. Схема тягово-сцепного устройства по пат. № 2290322 РФ:

1 — корпус дышла прицепа; *2* — выступ; *3* — кулачок двуплечего рычага; *4* — верхняя часть шаровой головки; *5* — впадина; *6* — отверстие; *7* — двуплечий рычаг; *8* — ось; *9* — вертикальный канал; *10* — шарнир; *11* — продольный канал; *12* — тяга; *13* — кронштейн; *14* — нижняя часть шаровой головки; *15* — паз; *16* — стержень

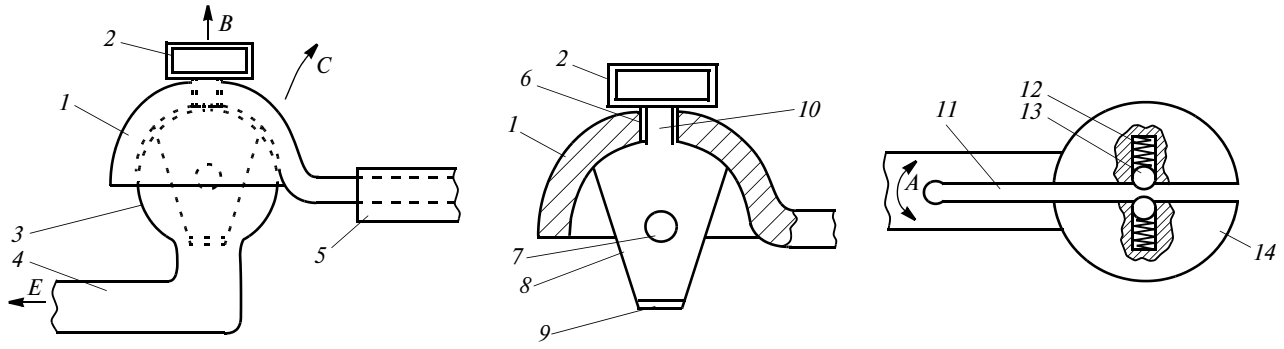


Рис. 7. Схема тягово-сцепного устройств по пат. № 2493974 РФ:
1 — полусферическая головка; *2* — рукоятка; *3* — шар; *4*, *14* — стержень; *5* — дышло; *6*, *7* — отверстие; *8* — упор; *9* — заостренный конец упора; *10* — ось; *11* — сквозной паз; *12* — пружина; *13* — шариковый фиксатор

как она соединена с помощью шарнира с двуплечим рычагом, то и он поворачивается на оси *8*. Но двуплечий рычаг жестко соединен с кулачком *2*, поэтому он выходит из паза *7* стержня *16*. Затем водитель фиксирует двуплечий рычаг, выходит из автомобиля и вручную перемещает дышло вверх совместно с корпусом *1* и верхней частью шаровой головки вверх. Для сцепа звеньев автопоезда указанная операция производится в обратном порядке.

Для определения рациональных размеров деталей данного тягово-сцепного устройства, как и в предыдущих случаях, применительно к геометрическим характеристикам шаровой головки, регламентируемым ОСТ 37.01.096—77 для легковых автомобилей, авторы разработали расчетную схему его силового нагружения и провели соответствующие расчеты опять-таки применительно к автопоезду, состоящему из автомобиля ВАЗ-2107 и грузового одноосного прицепа ММЗ-81021. При этом проверялись величины напряжений смятия ($\sigma_{см}$) выступа шаровой головки, напряжений растяжения ($\sigma_р$) тяги управления двуплечим рычагом и его консоли (кулачка) на изгиб ($\sigma_{изг}$).

В первом случае использовалась формула № 11. Расчет по ней дал такой результат: $\sigma_{см}$ = 5,3 МПа. Что в 25 раз меньше [$\sigma_{изг}$] = 130 МПа.

Для расчета тяги управления двуплечим рычагом на прочность, где в ее сечениях под действием силы $P_в$ возникнут напряжения $\sigma_р$ растяжения, воспользуемся информацией, приведенной в работах [1, 3]: вертикальные составляющие $P_в$ динамических нагрузок на соединительных пальцах тяговых устройств легковых автомобилей в среднем с вероятностью менее 0,1 не превышают 20 % продольных составляющих усилий $P_т$, проявляющихся в момент трогания автопоезда с места. В нашем случае $P_т$ = 2500 Н, поэтому величину $P_в$ можно принять равной 500 Н. Учитывая, что передаточное число U двуплечего рычага конструктивно может быть принято равным 2, то на тяге возникает осевая нагрузка $P_{пр}$ = 1000 Н. Значит, если брать диаметр $d_т$ тяги, равным 6 мм, а в качестве ее материала — сталь 45 с [$\sigma_р$] = 200 МПа, то формула № 12 даст напряжение $\sigma_р$ растяжения 35,3 МПа.

Как видим, запас прочности тяги — 5,7.

Так как вертикальная составляющая $P_в$, приложенная к кулачку двуплечего рычага, может достигать значения 1000 Н, то от ее действия на кулачке, имеющем прямоугольный профиль высотой h = 12 мм, возникнет равномерно распределенная нагрузка, равная ее отношению к рабочей длине $l_к$ участка в зоне его контакта с пазом верхней части ($l_к$ = = 0,02 м): $q = P_в/l_к = 10 \cdot 10^3/0{,}02 = 5 \cdot 10^3$ Н/м. Тогда уравнение изгибающего момента M для этой части кулачка можно записать в виде формулы № 13, подсчет по которой показывает: M = 10 Н/м. Момент же W сопротивления кулачка дает формула № 14 (W = 0,48 см^3). Тогда условие прочности для кулачка запишется в виде формулы № 15. По ней $W_{изг}$ = 20,8 МПа, что в 17,6 раза меньше [$\sigma_{изг}$] = 363 МПа, т. е. предела текучести стали 45.

Пятая из разработанных авторами конструкций тягово-сцепного устройства показана на рис. 7 (пат. № 2493974 РФ). Состоит оно из шара *3*, жестко соединенного со стержнем *4*, в которых выполнен сквозной паз *11*. В шаре *3* установлены подпружиненные пружинами *12* шариковые фиксаторы *13*, и его охватывает полусферическая головка *1*, снабженная упором *8* трапецеидальной формы, который имеет отверстие *7* и заостренный конец *9*. В головке *1* выполнено отверстие *6*, в котором установлена ось *10*, жестко закрепленная на упоре *8* и рукоятке *2* управления ею. Полусферическая головка, в свою очередь, жестко присоединена к дышлу *5* прицепа, а стержень *14* — к автомобилю-тягачу.

Работает данное тягово-сцепное устройство следующим образом.

В сцепленном состоянии оно находится в положении, при котором отверстие *7* упора *8* располагается между шариковыми фиксаторами *13* в сквозном пазу *11*, надежно соединяя шар *3* с полусферической головкой *1*. При маневрировании автопоезда, т. е. угловых перемещениях его звеньев друг относительно друга в горизонтальной плоскости, упор *7* совместно с шаром, осью *10* и рукояткой *2* поворачивается относительно полусферической головки. Что и обеспечивает гибкость автопоезда в данной плоскости и исключает рас-

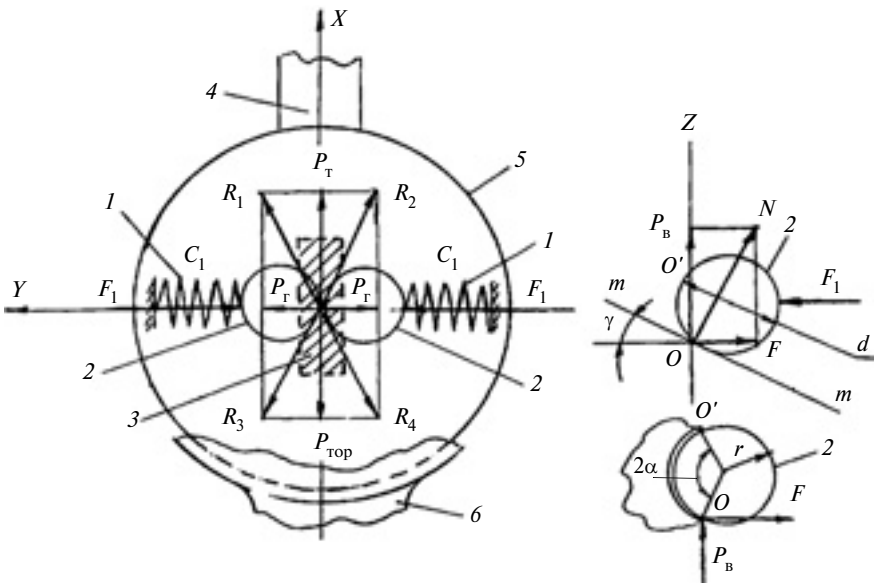


Рис. 8. Расчетная схема шарикового фиксатора:
1 — пружина; *2* — тело качения (шарик) *3* — упор; *4* — стержень; *5* — шар; *6* — полусферическая головка

цеп его звеньев. В случае же "галопирования", т. е. перемещения звеньев автопоезда в вертикальной плоскости, упор *8* имеет свободу перемещения совместно с полусферической головкой вдоль сквозного паза *11*, выполненного в шаре и стержне, а при колебаниях в виде боковой качки, когда прицеп получает некоторый угловой поворот в поперечной плоскости относительно продольной оси симметрии автопоезда, стержень закручивается (например по стрелкам *A*), что и обеспечивает податливость сцепа в этом направлении.

Для расцепки звеньев автопоезда водитель поворачивает рукоятку *2* по стрелке *B*, преодолевая жесткость пружин *12* и выводит упор *8* из сквозного паза *11*, что позволяет повернуть дышло прицепа по стрелке *C*. Затем автомобиль вместе с шаром *3* и стержнем *14*, перемещают в направлении стрелки *E*.

Наиболее ответственный элемент данного устройства — подпружиненный шариковый фиксатор. Поэтому он и подвергается прочностному расчету. На используемой для этой цели расчетной схеме, как видно на рис. 8, показан шар *5*, который образует со стержнем *4* единое целое, жестко закрепленное на автомобиле, и в котором подвижно относительно оси *Y* установлены тела качения *2* радиусом *r*, подпружиненные винтовыми пружинами с линейной жесткостью C_1. Между этими телами расположен упор *3* трапецеидальной формы, который жестко связан с охватывающей шар полусферической головкой *6*.

В процессе движения автопоезда к шару *5*, а следовательно, и к упору *3* полусферической головкой *6* приложено тяговое усилие $P_т$, а на режимах торможения — тормозное усилие $P_{тор}$. Векторы данных усилий разлагаются на горизонтальные составляющие усилия $P_г$ и их равнодействующие R_1, R_2, R_3 и R_4.

При расчете, как и в предыдущих случаях, примем, что $P_{кр\ max} = 850$ Н, $P_т = 2500$ Н и $P_{тор} = 1175$ Н.

В сечении устройства, контактирующего с телами качения фиксатора, где предложена вертикальная составляющая сила $P_в$, которая стремится нарушить его фиксацию, возникают напряжения $\sigma_р$ растяжения. Как сказано в работах [1, 3], вертикальные составляющие динамических нагрузок на соединительных пальцах в среднем, с вероятностью менее 0,1, не превышают 20 % продольных составляющих усилий, проявляющихся в момент трогания автопоезда с места. То есть в нашем случае (автопоезд ВАЗ-2107 + МАЗ) величину $P_в$ можно принять равной 500 Н. Кроме того, исходя из конструктивных соображений — выбрать геометрические размеры соединительного упора. Скажем, взять упор прямоугольной формы с размерами $a = 20$ мм и $b = 7$ мм.

В этом случае $\sigma_р$ подсчитывается по формуле № 16. Итог расчета — $\sigma_р = 3{,}6$ МПа, что в 12 раз меньше предела прочности стали 45.

Так как вертикальная составляющая $P_в$, приложенная к упору, по условию, может достигать 500 Н, то от ее действия на шарике возникает нормальная (N) и радиальная (F) составляющие. Они стремятся преодолеть усилие сжатой пружины жесткостью C_1 с силой F, которую можно определить по формуле № 17.

В нашем примере $\gamma = 37°$, поэтому $F = 645$ Н.

При этом очевидно: чтобы произошла деформация пружины, должно быть выполнено условие $F \geqslant N$ или $P_в \geqslant N\text{tg}\alpha$.

Используя справочные данные, авторы выбрали следующие геометрические характеристики пружины при нагрузочной ее способности, равной 645 Н, $D = 15$ мм, $d = 3{,}5$ мм, $l = 18$ мм, $C_{пр} = 45$ Н/мм, материал — сталь 60С2.

Данная схема, в принципе, тоже небезотказна. В частности, сцепка может рассоединиться, если пружины фиксатора полностью сжаты, а максимальная нагрузка $P_в$ способна срезать тело качения (шариков) по поперечному сечению.

Проверка такой возможности показала: напряжения $\tau_{среза}$ шарика, которые определяются по формуле № 17, даже при $d_ш = 5{,}2$ мм не превышают 23,5 МПа, что в ~15 раз меньше предела прочности для материала шариков.

Каждое из рассмотренных выше устройств, безусловно, лучше выпускаемых в настоящее время. И, думается, ими должны заинтересоваться и потребители, и производители легковых автомобилей и прицепов к ним.

Какой же вариантов выбрать — все зависит от вкусов первых и производственных возможностей вторых.

УДК 629.124.9.039

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БОЛЬШЕГРУЗНЫЕ АМФИБИЙНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ДЛЯ РАБОТЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ: ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ

Кандидаты техн. наук **А.Е. ДУБИН** и **В.Е. НЕСТЕРОВ**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (499. 503-83-49)

Показана роль большегрузных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке (ТСВП) при реализации высокоэффективных транспортных систем в Арктической зоне РФ. Сформулирован набор основных тактико-технических требований, предъявляемых сегодня к перспективным образцам таких машин. Выполнен анализ конструктивных особенностей современных ТСВП и предложена компоновочная схема для разработки перспективных машин.

Ключевые слова: *Арктика, Арктическая зона, транспортные сети, транспортная система, большегрузное амфибийное транспортное средство на воздушной подушке, судно на воздушной подушке, технические требования, технические характеристики, сравнительная эффективность, схема компоновки.*

Dubin A.E., Nesterov V.E.

PERSPECTIVE CARGO HOVERCRAFTS TO OPERATE IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: BASIC REQUIREMENTS AND CONCEPT DESIGNS

Role of cargo amphibious air cushion vehicles (ACVs) applying to the development of efficient freight transportation systems in the Arctic zone of the Russian Federation is showen. We present basic requirements for the perspective hovercrafts. Also, we analyze features of the latest Russian cargo ACVs and present a design concept for the forthcoming Russian Arctic cargo hovercrafts.

Keywords: *Russian Arctic, Arctic zone, Arctic transportation networks, transportation system, freight, cargo amphibious air cushion vehicle, hovercraft, technical requirements, technical data, specifications, efficiency, and concept design.*

Одно из ключевых направлений государственной региональной политики РФ на современном этапе — интенсификация комплексного развития территорий Арктической зоны страны. Без скорейшего ее решения будет трудно достичь заявленных государственным руководством целей по обеспечению устойчивого социально-экономического развития регионов Крайнего Севера, освоению природных богатств заполярных областей и Арктического континентального шельфа, достижению требуемого уровня военного присутствия российских вооруженных сил в этом регионе [1, 2].

Среди основных проблем, препятствующих ведению круглогодичной хозяйственной деятельности на территориях Арктической зоны РФ, выделяются две: чрезвычайно тяжелые природно-климатические условия, характерные для данных регионов, и крайняя слабость существующих на сегодня региональных транспортных систем. При этом одной из наиболее эффективных универсальных систем организации регулярных грузоперевозок во всей Арктической зоне РФ может стать система, реализованная с использованием большегрузных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке (ТСВП) [3, 4, 7].

Ведущими мировыми разработчиками большегрузных амфибийных ТСВП, способных функционировать в условиях Арктики, традиционно являются такие страны, как Россия, США, Великобритания и Канада. В последнее время к этой группе присоединились Финляндия и Китай. В данной области техники Россия успешно сохраняет весомый научно-технический потенциал, накопленный во второй половине XX века во времена СССР, а также располагает необходимой производственно-технологической базой для производства и эксплуатации машин такого класса.

Имеющийся мировой опыт коммерческого использования и результаты многочисленных экспериментальных испытаний различных военных образцов большегрузных амфибийных ТСВП в условиях Севера и Заполярья позволяют сделать заключение о целесообразности и эффективности применения таких машин при решении разноплановых транспортных задач в природных условиях Арктики [4, 7, 8, 11, 13, 14]. При эксплуатации большегрузных амфибийных ТСВП в Арктической зоне РФ достигается шестикратное снижение затрат на грузоперевозки — это если сравнивать с традиционным для этих регионов способом транспортировки грузов — вертолетами сходной грузоподъемности [8].

Кроме того, эксплуатация в Арктической зоне большегрузных амфибийных ТСВП (при грузопотоках до 120 тыс. т в год и величинах транспортного плеча в диапазоне 20...120 км) в среднем в 3...4 раза экономически эффективнее другого традиционного варианта организации региональных транспортных сетей — грузовым автомобильным транспортом [4, 11]. По стоимости грузоперевозок ТСВП существенно уступают лишь речному водоизмещающему транспорту по открытой воде [4, 11]. Однако учитывая крайне короткий период летней навигации в Арктической зоне, как правило, не превышающий 3...4 месяцев в году, — следует признать, что этот вариант малопригоден для построения перспективных региональных транспортных сетей, которые в современных условиях должны устойчиво функционировать круглогодично и регулярно.

Основной набор тактико-технических требований к перспективным ТСВП, предназначенным для эксплуатации в Арктической зоне РФ, в большей части определяется природно-климатическими условиями, характерными для этих территорий. И хотя протяженность этого макрорегиона превышает несколько тысяч километров в широтном направлении и более тысячи — в меридиональном, главная его особенность заключается в том, что основная часть Арктической зоны РФ расположена за Северным полярным кругом. Для большинства континентальных территорий Арктической зоны характерны условия вечной мерзлоты, а ее морские участки принадлежат различным районам шельфа и акваторий северных морей. Природно-климатические условия в Арктической зоне РФ с точки зрения требований, предъявляемых к эксплуатируемой здесь технике, характеризуются как чрезвычайно тяжелые. В табл. 1 приведены краткие сведения о погодных условиях в шельфовых районах морей Арктической зоны [5].

Континентальные территории Арктической зоны расположены преимущественно в климатических условиях полярной (зона арктических пустынь) и тундровой (субарктической) природных зон [6]. Среднемесячная температура января там составляет −16...−32 °С, средняя температура июля не поднимается выше +8...+10 °С; общие среднегодовые температуры — от −2 до −12 °С. Продолжительность безморозного периода не превышает трех месяцев. Почвы находятся в условиях многолетней мерзлоты, летом для них характерно переувлажнение и заболачивание. Растительный покров (мелкие кустарники, травянистые растения, мхи и лишайники) развит слабо, а его разрушение вызывает бурное развитие поверхностных эрозионных процессов, которые могут длиться не одно десятилетие. По этой причине для таких территорий остро стоит строгий экологический контроль хозяйственной деятельности работающих здесь компаний. Задача охраны природы тундры и, в первую очередь, ее почвенного покрова приобретает особую актуальность.

На основе комплексного анализа приведенных данных набор основных тактико-технических требований, предъявляемых сегодня к разрабатываемым перспективным большегрузным амфибийным ТСВП для эксплуатации в Арктической зоне РФ, может быть сформулирован следующим образом:

— по назначению: осуществление регулярных круглогодичных транспортных операций на всей континентальной территории, в прибрежных акваториях, на островах и шельфовых участках морей, включенных в макрорегион Арктической зоны РФ;

— по типам транспортных операций: рейдовая разгрузка судов, обустройство и комплексное обслуживание береговых поселений, портопунктов и добывающих платформ шельфовых месторождений полезных ископаемых, реализация региональных сетей интермодальных контейнерных грузоперевозок, другие задачи;

Таблица 1

Параметр	Баренцево море	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море
Средняя температура воздуха, °С:				
зимой	−10...−20	−17...−25	−28...−30	−25...−30
летом	+3...+7	+3...+7	+10...+15	+2...+3
Среднегодовая скорость ветра, м/с	10...15	5...8	5...6	
Максимальная скорость ветра, м/с	−	34...40	25...30	18...20
Высота волн, м	5...9	>3	3...6	3...5
Высота торосов, м	До 2...3	До 2	До 2...3	

— по высоте воздушной подушки: 1,6...2,0 м — для работы в зоне береговых паковых льдов и 2,5...3,0 м — в зоне торосов в удаленных от берега районах;

— по мощности тяговых двигателей: возможность устойчивого преодоления подъемов и маневрирования на косогорах с уклонами до 12...15° при скоростях ветра до 12...15 м/с;

— по дальности хода: 500...700 км (и порядка 20...30 ч непрерывной работы);

— рабочий температурный диапазон: −40...+30 °С;

— минимальные размеры машины с воздушной подушкой высотой 2,5 м и приемлемыми показателями динамической эксплуатационной устойчивости составят: длина 30...40 м, ширина 13...14 м, масса 80...100 т;

— показатели мореходности можно считать некритическими из-за большой высоты воздушной подушки (требуемой для преодоления ледовых препятствий);

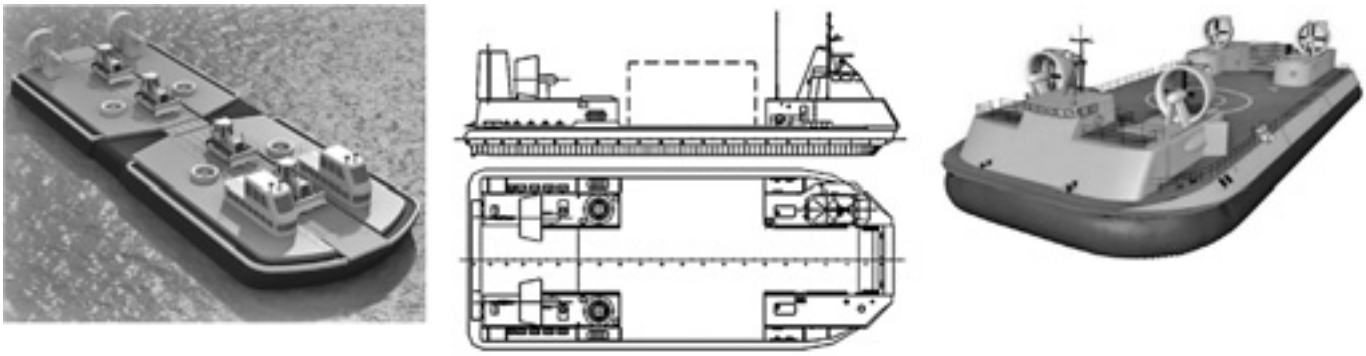
— давление в воздушной подушке: должно быть минимально возможное в функции полезной нагрузки и размеров машины с тем, чтобы максимально уменьшить разрушения подстилающей поверхности в процессе движения, снизить показатели брызгообразования и обледенения, свести к минимуму повреждения и износ гибкого ограждения (при этом для предотвращения необратимых экологических повреждений окружающей среды максимально допустимое избыточное давление в воздушной подушке ТСВП при работе в тундре должно быть ограничено значением 5,2 кПа [12], а для перспективных ТСВП предельные давления в воздушной подушке не должны превышать 2,4 кПа [13]);

— дополнительные экологические требования: по уровню шума — 67...75 дБ на расстоянии 300 м, по уровням выбросов CO_2 — в соответствии с действующими техническими нормативами;

— конструкция машины должна быть оптимизирована для эксплуатации в северных условиях: предусмотрены средства антиобледенения в жизненно важных зонах, под днищем размещены полозья либо направляющие или колеса, обеспечен легкий доступ на морозе для ремонта или обслуживания бортовых механических, электрических и гидравлических систем;

— комплексная интегрированная бортовая информационно-управляющая система должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации ТСВП во всех штатных режимах работы, в условиях полярной ночи, нулевой видимости, сильных ветров, предельно низких температур и наличия непредсказуемых препятствий на трассе движения.

В качестве прототипов при проектировании перспективных большегрузных амфибийных ТСВП, которые будут отвечать сформированному набору тактико-технических требований, могут выступать последние разработки ведущих российских предприятий — это ТСВП "Арктика-60Д", предлагаемая на рынке ОАО "ТПК "СибВПКнефтегаз", а также ТСВП "Ямал-60" и "Ямал-150", созданные в ОАО "ЦМКБ "Алмаз" и предлагаемые к производству ОАО "Хабаровский судостроительный завод". Внешний вид этих машин пока-



а) *б*) *в*)

Рис. 1. Современные большегрузные амфибийные ТСВП (Россия):
а — "Арктика-60Д"; *б* — "Ямал-60"; *в* — "Ямал-150"

зан на рис. 1, их основные технические характеристики приведены в табл. 2 [9, 10]. Все три ТСВП были спроектированы в течение последних 10 лет для работы в условиях российского Севера. Районы их преимущественного использования включают континентальные участки Арктической зоны, а также прибрежные акватории шельфа северных морей.

Из мирового опыта практического использования амфибийных ТСВП, построенных по традиционным компоновочным схемам, известно — и это также хорошо видно из приведенных данных табл. 2, — что для таких машин в силу их специфики сложности представляют преодоление затяжных подъемов, а также необходимость устойчивого маневрирования на косогорах и в условиях воздействия сильной ветровой нагрузки [16]. Вместе с тем природные условия Арктической зоны РФ, а также крайне малое число в этих регионах оборудованных портопунктов и транспортных развязок выдвигают к перспективным ТСВП в качестве одного из основных требований возможность работы именно в таких условиях. Подобного типа транспортные задачи на практике возникают как при выходе ТСВП на необорудованный берег, так и при движении по бездорожью, пересеченной местности арктической тундры.

Амфибийные ТСВП в условиях реальной эксплуатации, как правило, не могут преодолевать без разгона подъемы с уклонами, превышающими 5...6° [14]. Для решения этой проблемы разработчики ТСВП "Арктика-60Д" оснастили машину вспомогательным колесным контактным движителем. "Арктика-60Д" оборудована убирающимся (самолетного типа) шасси с гидравлическим приводом на каждое колесо. Нагрузка на колеса шасси может регулироваться в пределах от 15 до 100 % полной массы машины. В результате такое комбинированное ТСВП получило возможность устойчиво преодолевать подъемы и маневрировать на косогорах с уклонами до 22°.

Однако подобное решение имеет и ряд недостатков. При использовании вспомогательного колесного тягового привода в условиях моховой и травяной тундры нарушаются экологические требования по допустимым величинам предельного давления на грунт, происходит разрушение почвенного покрова — как и в случаях применения традиционных колесно-гусеничных вездеходов. Кроме того, оснащение ТСВП дополнительной тяговой системой ведет к усложнению и удорожанию бортовых подсистем и всей конструкции в целом. Наконец, вспомогательный колесный привод не может обеспечить необходимые показатели управляемости и курсовой устойчивости при работе в водной среде.

Для динамической курсовой стабилизации при движении над водой и по глубокому снегу разработчики "Арктики-60Д" дополнительно оснастили машину направляющими ножами-килями. Но они малоэффективны при движении по битому льду, при преодолении участков торосов и т. д.

Таблица 2

Параметр	Российские большегрузные амфибийные ТСВП		
	«Арктика-60Д»	«Ямал-60»	«Ямал-150»
Длина × ширина, м	45 × 15	41 × 18	56,1 × 25,6
Высота воздушной подушки, м	2,5	1,5	2,7
Давление в воздушной подушке, кПа	–	3,4	4,7
Масса (полное водоизмещение), т	115	160	530
Грузоподъемность, т	60		150
Дальность хода, км	800	370	600
Максимальная скорость, км/ч	60...85	65	
Максимальный преодолеваемый уклон, град.	22	6	
Максимальная допустимая скорость ветра, м/с	20	–	
Температурный диапазон, °С	−50...+40	−40...+40	

а)

б)

Рис. 2. Большегрузные амфибийные ТСВП (США):
а — "JEFF-A"; *б* — "Textron T-Craft"

Более универсальным решением для перспективных большегрузных амфибийных ТСВП, способным одновременно обеспечить требуемые показатели по тяговым характеристикам, маневренности и курсовой устойчивости машин как при движении по косогорам, так и при воздействии существенной ветровой нагрузки, может выступать ТСВП с увеличенным набором побортно расположенных тяговых винтов, установленных на поворотных пилонах. Важно отметить, что такая конструкция сохраняет все достоинства амфибийных ТСВП как в части универсальной проходимости при движении по любым типам подстилающих поверхностей, так и в минимизации разрушающего воздействия на природные экосистемы Арктики. Подобное компоновочное решение было применено в 1970-х годах при разработке ТСВП "JEFF-A", США. Оно продемонстрировало свою высокую эффективность во время экспериментальных испытаний машины в арктических природных условиях (рис. 2, *а*) [13].

В настоящее время схема компоновки с побортным размещением поворотных тяговых винтов является за рубежом одной из основных при проектировании перспективных большегрузных ТСВП. Так на рис. 2, *б* показана одна из последних разработок известной американской компании "Textron" — концепт-проект большегрузного ТСВП, выполненный в рамках инновационной программы "T-Craft" Управления военно-морских исследований США [15].

Использование в конструкциях перспективных большегрузных амфибийных ТСВП побортно расположенных тяговых винтов на поворотных пилонах может дать целый ряд существенных преимуществ. Кратное увеличение числа винтов позволяет достичь необходимого значения тяги, требуемой для устойчивого преодоления заданных уклонов, маневрирования на косогорах и надежной работы в условиях сильной ветровой нагрузки. Такая схема дает возможность отказаться от использования традиционных управляющих аэродинамических рулей. Повышенная тяговая энерговооруженность машины и новые принципы управления обеспечивают значительно более высокие показатели проходимости, курсовой и динамической устойчивости, маневренности и надежности. В совокупности все это позволяет рассматривать такое компоновочное решение как одно из приоритетных при разработке перспективных большегрузных амфибийных ТСВП, предназначенных для эффективной эксплуатации в регионах Арктической зоны РФ.

Литература

1. Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу // Российская газета, 27.03.2009. № 4877.
2. Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года // Официальный Интернет-ресурс Министерства Регионального развития РФ. URL: http:// www.minregion.ru/upload/documents/2013/03/200313/200313_2.doc (дата обращения: 08.04.2014).
3. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года // Официальный Интернет-ресурс "Документы Правительства РФ". URL: http:// gov.garant.ru/document?id=94460&byPara=1 (дата обращения: 08.04.2014).
4. Абрамовский В.А., Пивоваров Н.И., Цымляков Д.Е., Шляхтенко А.В. Перспективы использования амфибийных судов на воздушной подушке для решения транспортных задач в районах Крайнего Севера // Морской вестник. 2009. № 1. С. 22—27.
5. Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные. Регистр СССР / Под ред. И.Н. Давидана, Л.И. Лопатухина, В.А. Рожкова. Л.: Транспорт, 1974.
6. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. М.: ВЛАДОС, 2001.
7. Мохов Ю.М. Предложения по созданию транспортной сети на базе скоростных СВП для круглогодичной эксплуатации в северных и восточных районах России // Судостроение. 2012. № 4. С.35—41.
8. Отчет о научно-исследовательской работе по теме "Разработка подпрограммы государственной программы РФ "Экономическое и социальное развитие Арктической зоны РФ на 2011—2020 гг." в Республике Саха (Якутия)" // Официальный Интернет-ресурс Администрации Президента и Правительства Республики Саха (Якутия). URL: http://sakha.gov.ru/ru/node/65700 (дата обращения: 08.04.2014).
9. Самоходная амфибийная грузовая платформа "Арктика-60Д" // Интернет-сайт ОАО "ТПЦ "СибВПКнефтегаз". URL: http://www.sibvpk.ru/main.php?id=35 (дата обращения: 08.04.2014).
10. Суда на воздушной подушке // Интернет-сайт ОАО "Хабаровский судостроительный завод". URL: http://217033.ru.all.biz/suda-na-vozdushnoj-podushke-gg1090165 (дата обращения: 08.04.2014).
11. Шляхтенко А.В., Цымляков Д.Е. Сила воздуха // ОСК. Строим флот сильной страны. 2011. № 4 (8). С. 32—37.
12. Amyot J.R. Hovercraft Technology, Economics and Applications. New York: Elsevier Science Publishing, 1989.
13. Dickins D., Cox M., Thorliefson J. Arctic Patrol Hovercraft: An Initial Feasibility Study // Proceedings "ICE TECH—2008". — Banff Alberta: ICE TECH, 2008.
14. Knuth M., Ryerson C., Shoop S. Air Cushion Vehicles in the Arctic: ERDC Report. Hanover: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 2012.
15. Skolnick A., Wilson R. T-Craft – What, Why & How? // 11th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST-2011). Honolulu, Hawaii, USA: American Society of Naval Engineers, 2011.
16. Wong J.Y. Theory of ground vehicles, 4th ed. — New York: John Wiley and Sons, 2008.

УДК 629.3.02-192

СТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ ДО ТО ПО МЕРЕ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА КТС

А.В. ЖИМАЛИН, д-р техн. наук **С.М. МОРОЗ**
МАДИ (ГТУ) (8.926. 811-49-00)

Обосновывается целесообразность ступенчатого сокращения наработки КТС до ТО по мере выработки его ресурса.

Ключевые слова: *эксплуатация, отказ, наработка, частота, техническое обслуживание, ремонт.*

Zhimalin A.V., Moroz S.M.

STEP REGULATION OF OPERATING TIME FOR TO IN PROCESS DEVELOPMENT OF RESOURCE OF KTS

Rationale of step decreasing maintenance service interval schedule as MTV as it age is grounded.

Keywords: *operation activity, failure occurrence, operation time, service interval, vehicle maintenance, repairing.*

Износ и старение элементов конструкции — одна из самых распространенных причин отказов колесных транспортных средств. Причем по мере увеличения пробега L и сроков t эксплуатации частота $F(L)$ отказов существенно возрастает (рис. 1), а наработка ($L_{отк}$) на отказ сокращается в 4...5 раз и более. Из-за этого растут трудоемкость $T_{ТО,Р}$ и продолжительность простоев КТС в ТО и Р (рис. 2), а также частота F_x сходов с линии и невыходов на линию (рис. 3), со всеми вытекающими отсюда последствиями для безопасности дорожного движения и экономики АТП.

Казалось бы, наработки до ТО по мере того, как КТС вырабатывает свой ресурс, надо сокращать. Однако на практике этого нет. Общепринятая система ТО и Р предусматривает одни и те же интервалы между очередными процедурами, а в сервисной книжке содержится единый перечень обязательных технологических операций [1].

Итог такого подхода очевиден: профилактическая эффективность ТО по мере выработки ресурса КТС заметно снижается.

Специалистам это обстоятельство известно давно, и они предлагали противодействующие ему меры. Например, авторы работы [2] считают, что для поддержания работоспособности КТС необходимо выполнить три условия: диагностировать их с частотой, превышающей узаконенную в настоящее время максимальную частоту проведения ТО; внедрить систему планово-предупредительного ремонта и ступенчато, в соответствии с наработкой КТС, увеличивать частоту проведения ТО.

Однако ни одно из этих условий пока так и не реализовано. Плановые диагностирование или ремонт экономически себя не оправдывают: капитальные затраты на создание требуемых для этого производственных мощностей и текущие затраты на периодическое выполнение соответствующих операций превышают затраты на устранение отказов. Двухступенчатое повышение частоты проведения ТО так и не было доведено до инженерных методик [3], применимых на практике. Оно требует индивидуального регулирования частоты проведения ТО разномарочных парков КТС разного "возраста", для каждого из которых изготовителями установлено разное число видов ТО. А это при обыч-

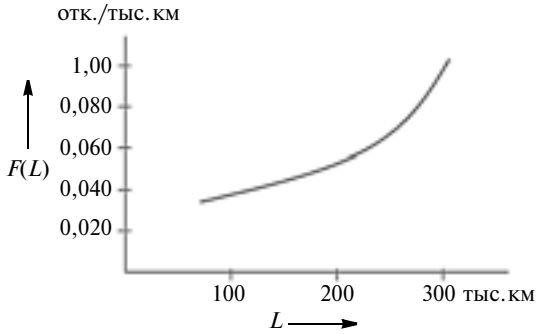


Рис. 1. Зависимость частоты отказов автобуса "Мерседес-Бенц Спринтер 411cdi" от его пробега

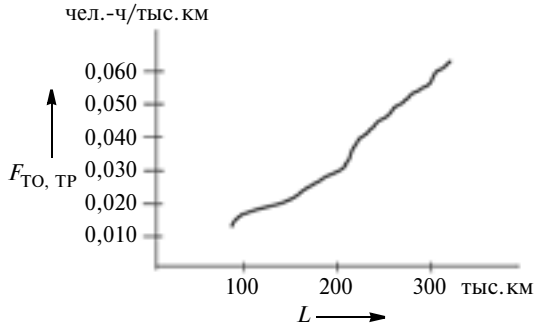


Рис. 2. Зависимость удельной трудоемкости ТО и Р автобуса "Мерседес-Бенц Спринтер 411cdi" от его пробега

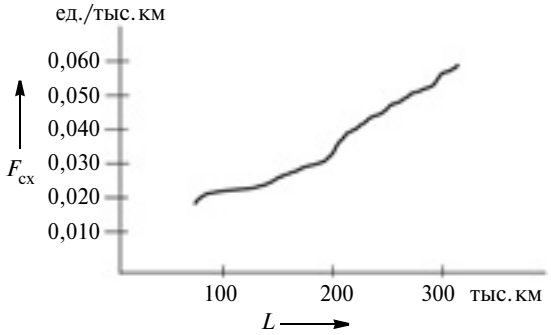


Рис. 3. Зависимость частоты сходов с линии автобуса "Мерседес-Бенц Спринтер 411cdi" от его пробега

ном (ручном) планировании и отслеживании постановки КТС на ТО крайне сложно. Не случайно многие крупные АТП для своего парка сходных КТС разных изготовителей назначают единые нормы периодичности ТО даже невзирая на рекомендации изготовителей.

Развитие компьютеризации КТС, применение встроенных систем контроля и отображения информации изменило ситуацию. Многие КТС уже оборудованы системами учета и отображения графика ТО. Это открывает возможности для индивидуального назначения периодичности ТО непосредственно на борту КТС, а "интеллектуализация" автомобильного парка за счет индивидуального для каждого КТС регулирования частоты ТО создает новый, более эффективный инструмент противодействия нарастанию частоты отказов КТС по мере выработки его ресурса.

Цель такого регулирования — минимизация затрат на ТО и Р и поддержание безопасности работы коммерческих КТС за счет предотвращения заявочного ремонта, дорожных линейных отказов. Его основа — принцип подобия частоты ТО оценке нарастания потока отказов КТС по мере выработки ресурса. При этом отказы считаются случайными, а каждый из них приводит к прекращению эксплуатации КТС и необходимости выполнения на нем заявочного внепланового ремонта. Поэтому повышение частоты ТО — это инструмент, позволяющий упредить отказы, устранить их причины при ближайшем ТО и тем самым избежать внеплановой постановки КТС на заявочный ремонт.

Чтобы обосновать методику рационального регулирования частоты проведения ТО, авторы исследовали закономерности сокращения наработки КТС на отказ по мере выработки ресурса. При этом учитывались разброс наработок на отказ компонентов КТС и повторяемость отказов. В частности, были собраны и обработаны экспериментальные данные по отказам довольно популярных у потребителя автобусов малого класса "Мерседес-Бенц Спринтер 411cdi" и "Ивеко Дейли 50С15" за четыре года их эксплуатации в ООО "Север-Авто". На основе обработки статистики была получена регрессионная зависимость частоты $F(L)$ отказов однотипных КТС при выполнении перевозок пассажиров в сходных условиях от пробега L с начала эксплуатации. При этом методом наименьших квадратов удалось аппроксимировать ее в следующую нелинейную экспоненциальную зависимость:

$$F(L) = 0{,}5524e^{0{,}001856x}.$$

Пользуясь этой зависимостью, следует иметь в виду, что повышение частоты проведения ТО может повлиять на предотвращение схода с линии или невыхода на линию КТС только при отказах, которые сопровождаются упреждающими признаками. При выявлении именно таких признаков органолептическими методами или диагностированием при выполнении планового ТО, предшествующего отказу, становится возможным предотвратить заявочный ремонт КТС, а также их возвраты с линии или невыход на линию. То есть "заменить" не сам отказ, а его неплановое "заявочное" выполнение и связанные с ним потери на выполнение работ в составе сопутствующего ремонта при очередном ТО. Иными словами, повышение частоты проведения ТО — удачный способ переноса части отказов из заявочного ремонта в сопутствующий ремонт.

Чтобы оценить возможности таких замен и переносов, необходимо знать долю отказов, сопровождающихся упреждающими признаками. Что и было выполнено с помощью экспертных методов — опросом специалистов технической службы ООО "Север-Авто" по предварительно подготовленной методике. В результате был составлен перечень, включающий 26 признаков, уверенно выявляемых органолептически, и 50 признаков, выявляемых диагностированием в пределах 20...50%-й наработки до ТО большей периодичности (для "Мерседес-Бенц Спринтер 411cdi" — 5 тыс. км, а для "Ивеко Дейли" — 6,6 тыс. км). Затем на этой основе был сформирован перечень отказов, сопровождающихся упреждающими признаками. В него вошли 70 % всех отказов, потребовавших выполнение заявочного ремонта на пробеге от 100 до 300 тыс. км. Их анализ показал, что 85...90 % из них можно было предупредить за счет упреждающего ремонта при очередных ТО.

Вывод напрашивается сам собой: при эксплуатации автобусов целесообразно переходить на сокращение сроков ТО по мере выработки ими ресурса. Именно в этом их резерв сокращения эксплуатационных затрат.

Для оценки частоты "упреждаемых" отказов (которые нельзя отождествлять с прогнозируемыми), сопровождающихся упреждающими признаками, авторами была выведена регрессионная зависимость частоты $F(L)$ таких отказов автобусов от пробега L с начала эксплуатации:

$$F_1(L) = 0{,}303e^{0{,}001856x}.$$

Кроме того, учитывая, что обе зависимости — $F(L)$ и $F_1(L)$ — частот отказов от пробега имеют нелинейный характер, авторы определили вид рациональной зависимости регулируемой наработки $G(L)$ до ТО от пробега L с начала эксплуатации автобусов (рис. 4):

$$G(L) = 0{,}0000672L^2 - 0{,}0566L + 17{,}9.$$

Частоту проведения ТО КТС предлагается регулировать в соответствии с алгоритмом ступенчатого сокращения наработки до ТО каждого вида при выполнении очередных ТО или с увеличенными интервалами между очередными сокращениями (например, через одно ТО) с использованием зависимости $G(L)$, в

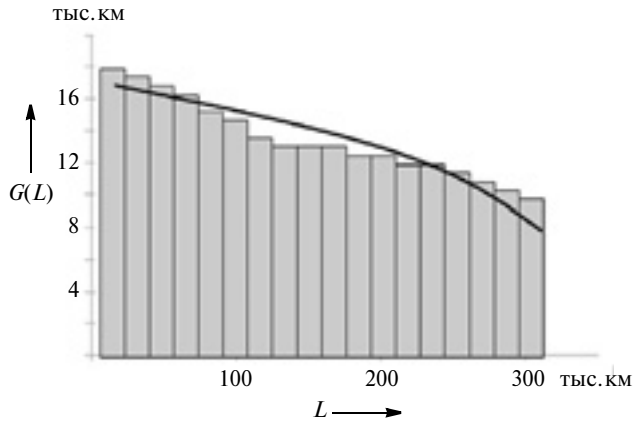


Рис. 4. Оптимальный вариант регулирования наработки до ТО по мере выработки ресурса КТС

которой коэффициенты уточняются изготовителем КТС для каждой новой базовой платформы.

Вместо регулирования частоты проведения ТО по пробегу КТС целесообразно ввести также индивидуальную для каждого экземпляра КТС условную корректируемую переменную $w(L, z, r)$, которая кроме пробега L учитывает еще и интенсивность z и условия r эксплуатации, как это приято в системе ТО по сервисным книжкам. Эта условная переменная w будет полнее отражать степень выработки ресурса КТС до очередного ТО.

Вид предлагаемого индивидуального для каждого КТС ступенчатого регулирования наработки до ТО в зависимости от условной переменной $w(L, z, r)$ показан на рис. 4. Из него следует, что для практического осуществления регулирования частоты последовательное, при каждом ТО, сокращение наработки до следующего обслуживания не требуется. Достаточно 8...10-кратного дробного ступенчатого повышения частоты проведения ТО от начала эксплуатации КТС до его списания или капитального ремонта. Это обеспечит минимизацию числа случаев заявочного ремонта при больших пробегах и наилучшее использование потенциала безотказности КТС, заложенного изготовителем в их конструкцию.

Все расчеты для формирования сокращающихся наработок до ТО могут быть автоматизированы непосредственно на борту каждого КТС в зависимости от среднесуточного пробега, доли пробега на понижающих передачах, частоты пусков двигателя и выполняемых маневров разгона и торможения, наружных температур. Алгоритм регулирования наработки до ТО и отображение рекомендаций по своевременности его выполнения предлагается реализовать бортовой вычислительной сетью АТС. Для этого достаточно использовать вычислительные возможности блока управления и дисплей одной из электронных систем управления КТС.

Предлагаемое ступенчатое сокращение наработки до ТО по мере выработки ресурса от начала эксплуатации приемлемо для КТС любых изготовителей. Оно не усложнит планирование постановок КТС на ТО, так как для каждого КТС будет автоматизировано индивидуально. Единственным условием реализации служит наличие на борту КТС электронных систем автоматического управления и дисплея для отображения визуальной информации.

Литература

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / М-во автомобильного транспорта РСФСР. — М.: Транспорт, 1986. — 72 с.
2. Денисов А.С., Басков В.Н., Захаров В.П. Влияние периодичности профилактики на надежность автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2011. № 6. С. 51...52.
3. Живов С.В. Разработка методики оптимизации периодичности ТО легковых автомобилей-такси: Дисс. канд. техн. наук. М., 2007. — 164 с.

УДК 629.063

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Н.В. БЫЧЕНКО, Д.Е. ДЕВЯТКИН, Е.В. СКАПЦОВ, Н.А. СУМЕНКОВ, В.Н. ШАПРАН

Рязанское ВВДКУ (военный институт) (4912. 20-94-38)

Рассматривается влияние неисправностей нагнетательного клапана и плунжерной пары на давление в камере сгорания и с помощью линейных параметрических моделей построены графические характеристики топливоподачи, с помощью которых можно точно установить неисправность и оставшийся ресурс до ремонта элементов топливной аппаратуры.

Ключевые слова: *параметрические модели, неисправности, топливная аппаратура, нагнетательный клапан, плунжерная пара, давление, процессы, функции, расчет, характеристики, техническое состояние, ресурс.*

Bichenko N.V., Devaytkin D.E., Skapsov E.V., Sumenkov N.A., Shapran V.N.

TESTING OF DIESEL FUEL EQUIPMENT BY THE USE OF PARAMETRIC MODELS

The influence of the forcing valve fault and a plunger couple on pressure in a combustion chamber is described. The characteristics of fuel delivery are represented by linear parametric models. They help to determine the fault and the remained resource up to the maintenance of the fuel equipment.

Keywords: *parametric models, fault, fuel equipment, forcing valve, plunger couple, pressure, processes, functions, characteristics, technical state, resource.*

Эксплуатационно-ремонтная статистика по автомобильным дизелям свидетельствует, что большинство случаев их отказов связано с неисправностями топливной аппаратуры. И прежде всего — плунжерной пары или нагнетательного клапана ТНВД.

Эти неисправности на работе дизеля сказываются примерно одинаково — изменяют давление в его камерах сгорания. Поэтому определить, какая из неисправностей "виновата" в ухудшении его работы или отказе, можно только одним способом — разобрав и продиагностировав ТНВД. Что в условиях эксплуатации — практически невыполнимая задача.

Чтобы упростить диагностирование ТНВД, авторы статьи и решили воспользоваться обходным путем, суть которого сводится к следующему: в ТНВД вводится одна из трех (плунжерная пара, нагнетательный клапан, плунжерная пара + нагнетательный клапан) его неисправностей. Затем этот ТНВД устанавливается на дизель, и при работе последнего на номинальном режиме фиксируется давление в его камере сгорания. Величина и характер изменения этого давления, очевидно, может служить эталоном одной из трех перечисленных выше неисправностей. Иначе говоря, служить инструментом диагностирования ТНВД в эксплуатации.

Такой подход — вполне оправданный. В этом легко убедиться, взглянув на рис. 1, где приведены кривые изменения давления в камере сгорания дизеля при неисправности плунжерной пары (*1*), нагнетательного клапана (*2*) и обоих этих элементов конструкции ТНВД (*3*): протекание кривых, как видим, существенно отличается, следовательно, они действительно могут играть роль диагностических признаков.

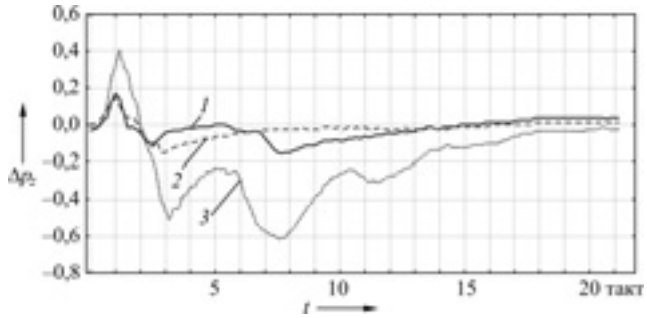


Рис. 1. Графики изменения давления в камере сгорания дизеля при неисправности плунжерной пары ТНВД (1), его нагнетательного клапана (2) и "плунжерная пара— нагнетательный клапан" (3)

Таким образом, при диагностировании ТНВД проблема сводится к возможно более точной записи кривых, аналогичных приведенным на рис. 1. И это возможно, например, авторам, когда они проводили свои исследования, удалось за 0,82727 с снять 128 значений давлений Δp_z для каждого из трех процессов. То есть затратив на выполнение записи 32 рабочих тактов ДВС.

Правда, кривые, приведенные на рис. 1, отличаются не только между собой, но каждая из них, последовательно снятая, не совсем повторяет саму себя. Поэтому нужно строить линейную параметрическую модель каждого из трех процессов, а на их основе — зависимость процесса "неисправность плунжерной пары + не-

Таблица 1

№ формулы	Формула	Примечание
1	$X_t = 1{,}63X_{t-1} - 0{,}89X_{t-2} + 0{,}21X_{t-3} + a_t$	t — номер такта дизеля; $a_t = 0{,}0115$ — белый шум
2	$a_t = (1 - 1{,}63B + 0{,}89B^2 - 0{,}89B^3)X_t$	B — оператор сдвига назад; $BZ_t = Z_{t-1}$
3	$Q = n\sum_{k=1}^{K} r_к^2(a)$	n — число значений ряда; k — остаток задержек; K — общее число задержек; $r_к(a)$ — автокорреляция остатков K задержек
4	$Y_t = 1{,}34Y_{t-1} - 0{,}41Y_{t-2} + \beta_t$	—
5	$Z_t = 1{,}23Z_{t-1} + 0{,}16Z_{t-2} - 0{,}43Z_{t-3} + \gamma_t$	—
6	$Z_t = V_1(B)X_t + V_2(B)Y_t + a_t$	$V_1(B)$, $V_2(B)$ — импульсные передаточные функции линейных фильтров
7	$Z(f) = H_1(f)X(f) + H_2(f)Y(f) + N(f)$	$H_i(f)$ — частотная характеристика
8	$H_1(f) = \dfrac{G_{XZ}(f)\left[1 - \dfrac{G_{XY}(f)G_{YZ}(f)}{G_{XX}(f)[1-\gamma_{XY}^2(f)]}\right]}{G_{XX}(f)[1-\gamma_{XY}(f)]}$; $H_2(f) = \dfrac{G_{YZ}(f)\left[1 - \dfrac{G_{YX}(f)G_{XZ}(f)}{G_{XX}(f)G_{YZ}(f)}\right]}{G_{YY}(f)[1-Y_{XY}^2(f)]}$	$\gamma_{XY}^2(f) = -\dfrac{\lvert G_{XY}(f)\rvert^2}{G_{XX}(f)G_{YY}(f)}$ — обычная функция когерентности; $G_i(f)$ — спектральная характеристика
9	$Z_t = 0{,}66X_{t-1} + 0{,}41X_{t-4} - 0{,}57X_{t-5} + 0{,}5X_{t-6} - 0{,}65X_{t-7} + 0{,}94Y_t + 0{,}91Y_{t-1} + 0{,}42Y_{t-2} + 0{,}48Y_{t-7} + 0{,}48Y_{t-9}$	—
10	$b_t = (1 - 1{,}63B + 0{,}89B^2 - 0{,}21B^3)Y_t$	—
11	$V_1(B)Y_t = V_2(B)X_t$	—
12	$\chi_i = (\chi_1 - \chi_2)$	χ_1, χ_2 — численные значения давления в исправной и неисправной топливной аппаратуре; i — число точек на оси времени
13	$\overline{\chi} = \dfrac{1}{128}\sum_{t-1}^{128}\chi_i$	—
14	$C_к = \dfrac{1}{128}\sum_{t-1}^{128}(\chi_i - \overline{\chi})(\chi_{i+K} - \overline{\chi})$	$K = 1...25$ — число точек, используемых для вычисления автоковариации
15	$Q = 128\sum_{t-1}^{28} r_к^2$	—

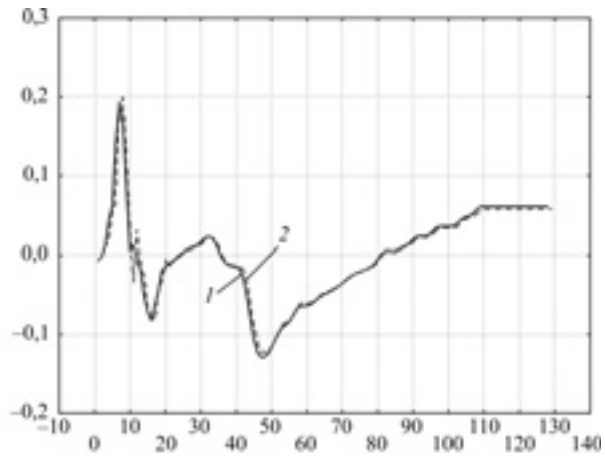


Рис. 2. Процесс "изменение давления в камере сгорания дизеля" из-за неисправности плунжерной пары ТНВД (1) и его расчетная модель (2)

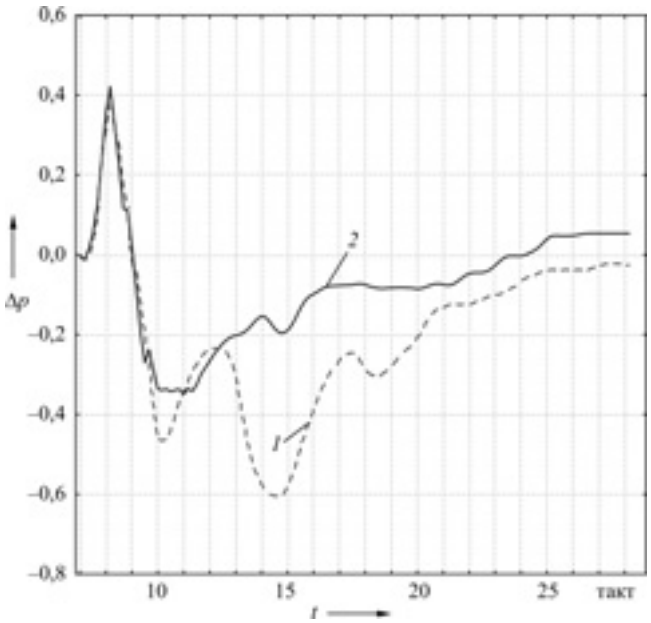


Рис. 3. Процесс "изменение давления в камере сгорания дизеля из-за неисправности плунжерной пары и нагнетательного клапана" (1) и его расчетная модель (2)

исправность нагнетательного клапана" (обозначим его буквой "Z"), от процессов "неисправность плунжерной пары" (X) и "неисправность нагнетательного клапана" (Y), т. е. импульсную передаточную функцию линейной системы с двумя входами и одним выходом.

Рассмотрим, как это делается.

Основой для построения модели процесса X служат автокорреляционная и частная автокорреляционная его функции. По ним определяем, что данный процесс есть процесс авторегрессии третьего порядка (формула № 1 в табл. 1 или, что то же самое, формула № 2).

Центрированный процесс X и его модель приведены на рис. 2. Критерий согласия модели по исходным данным строим, исходя из того, что если подгоняемая модель удовлетворительна, то статистику Q, как известно [1], дает формула № 3. Причем величина Q распределена приближенно [2], как χ^2 с $(K-p)$ степенями свободы. Причем для $K = 20$ число p параметров модели равно трем, следовательно число степеней свободы — 17, а критическое значение отклонения H_0-гипотезы, т. е. того, что модель адекватна исходным данным, находится на уровне значимости $\alpha = 0{,}1$ и равно 24,8. Тогда $Q = 19{,}93$. Значит, если $P = 0{,}28$ и оснований для отклонения H_0-гипотезы нет, то процессу X и его модели соответствуют графики, приведенные на рис. 2.

Из графиков (рис. 3), соответствующих процессу Z и его модели, видно, что на первой четверти процесса модель описывает его вполне удовлетворительно и может быть принята в качестве начальной (пробной) для построения более эффективных методов идентификации, подгонки и проверки этой модели.

Из формулы № 6 и рис. 3 следует: реакция процесса Z на процесс X запаздывает на один такт. Так, на восьмом такте процесса Z наблюдается наибольшее значение передаточной функции (0,40694), а процессы X (см. рис. 2) и Y на седьмом такте равны соответственно 0,16944 и 0,15. Прогнозируемое же по модели Z_t значение составляет 0,42111.

Вклад процесса Y в данное значение Z — 68 %, т. е. 2/3 значения процесса Z, что обусловлено ближайшим прошлым процесса Y (табл. 2).

Для корректного определения системы с двумя входами и одним выходом необходимо, чтобы значения функций обычной когерентности для входных процессов X и Y и процесса на выходе Z не были бы равны единице, а значение функции множественной когерентности между входными процессами и выходным было достаточно большим. И как обстоит дело в нашем случае, рассмотрим по рис. 4, где приведены функции обычной когерентности возможных комбинаций из трех (XY, XZ и YZ) процессов (соответственно кривые *1*, *2* и *3*).

Из кривой *1* видно, что между входными процессами X и Y на частотах ниже 0,25 Гц явно наблюдается связь. Возможно, этим и объясняется превалирование доли процесса Y над процессом X в процессе Z, так как входной процесс X поступает на выход по двум разным трактам.

Таблица 2

№ теста	Значение процесса		
	X	Y	Z
1	−0,03000	0	−0,00694
2	−0,0250	0,00694	−0,01250
3	−0,01250	0,02500	−0,00556
4	0,01944	0,03750	0,04444
5	0,03750	0,08194	0,08750
6	0,11944	0,11944	0,26250
7	0,16944	0,15000	0,31250
8	0,14444	0,10694	0,40694
9	0,06250	0,05556	0,31250
10	−0,01806	0,03750	0,28750

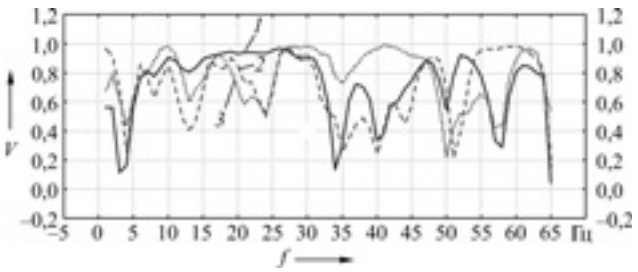


Рис. 4. Функция обычной когерентности для комбинаций XY (1), XZ (2) и YZ (3) процессов X, Y и Z

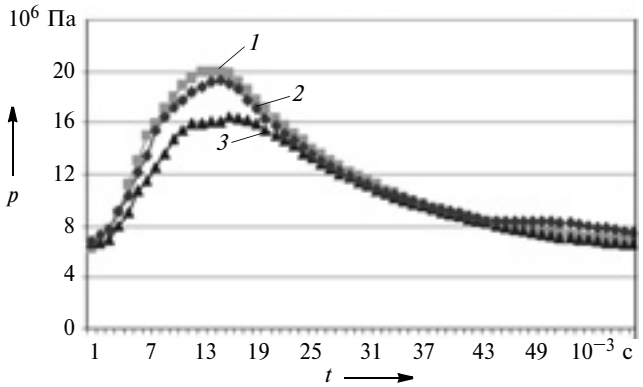


Рис. 5. Зависимость давления топлива, создаваемого ТНВД, от пробега и износа элементов ТНВД:

1 — новый ТНВД; *2* — после пробега 40 тыс. км; *3* — после пробега 100 тыс. км

Если входные процессы коррелированны, то для правильного математического описания системы необходимо в одном из входных процессов выделить линейный вклад другого, т. е. один из входных процессов разложить на сумму двух некоррелированных процессов. Попытаемся это сделать.

Исходя из того, что процесс X предшествует процессу Y, а также что на низших частотах, где наблюдается максимум спектра выходного процесса, функция обычной когерентности $G_{XZ}(f)$ превосходит функцию такой же когерентности $G_{YZ}(f)$, в качестве первого из рекомендованных процессов можно взять процесс X. Вклад процесса X из процесса Y за счет корреляции можно исключить, применив преобразование, которому удовлетворяет процесс X, к процессу Y (формула № 10).

Используя далее выборочную взаимную корреляционную функцию между a и b, можно получить предварительную идентификацию модели (формула № 11) и рассматривать линейную систему с двумя некоррелированными входами, т. е. определять частотные характеристики как для систем с одним входом и одним выходом.

Из сказанного выше следует, что возможность поэтапного построения графика для каждой неисправности ТНВД есть. Для этого по известным конструктивным данным ТНВД необходимо найти траекторию зависимости каждой кривой, которая свидетельствует о состоянии топливной аппаратуры высокого давления. Затем из этих зависимостей берутся точки, координатами которых по оси абсцисс должны быть числа, кратные 16, 64, 128 и т. д. После этого с помощью программного обеспечения Excel, "Математика" и "Статистика" проводится статистический анализ, на основе которого получаются математические зависимости, характеризующие техническое состояние ТНВД.

Рассмотрим пример использования этих характеристик для определения того элемента топливной аппаратуры дизеля, который не отвечает техническим требованиям, и оставшейся ресурс до ее капитального ремонта.

Алгоритм решения данной задачи следующий.

1. Из диаграммы впрыскивания топлива со всеми исправными элементами топливной аппаратуры вычитаются полученные расчетным путем значения координат такой же диаграммы для неисправной топливной аппаратуры. В результате получается массив отклонений экспериментальных данных от эталонных характеристик топливной аппаратуры.

Математическое ожидание отклонения экспериментальных данных от эталонных характеристик для каждой комбинации неисправностей (среднее значение этих точек) дает формула № 13.

2. Зная среднее значение отклонения экспериментальных данных от эталонных характеристик для каждой комбинации неисправностей (автоковариацию), по формуле № 14 находится дисперсия C_k этого отклонения.

3. По результатам значения критерия Q (критерия статистической оценки экспериментальных данных по эталонным характеристикам для каждой комбинации неисправностей), характеризующего близость (подобие, соответствие) экспериментальной характеристики топливоподачи к эталонным, полученным при заведомо исправной топливной аппаратуре и заведомо известных $r_k = C_k/C_0$ неисправностях, по формуле № 15 делается заключение о неисправности топливной аппаратуры.

Чем меньше Q, тем больше вероятность, что неисправность топливной аппаратуры соответствует эталонной неисправности, заложенной в вычислительном комплексе.

Таким образом, эталонная характеристика Z_t, заложенная в программу ЭВМ, действительно может служить инструментом точного диагностирования ТНВД. Для этого достаточно сравнить ее с аналогичной характеристикой диагностируемого ТЕВД. И по тому, насколько расходятся эти характеристики (рис. 5), судить об оставшемся ресурсе ТНВД. Ведь по мере эксплуатации дизеля элементы его ТНВД изнашиваются, поэтому характеристика впрыскивания меняется.

Литература

1. Марков В.А., Кислов В.Г., Хватов В.А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. — 160 с.
2. Математические модели процессов энергопреобразования в поршневых двигателях внутреннего сгорания. Учебное пособие. С-Пб: ВАТТ, 1995. — 123 с.

УДК 656.13

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

А.Е. ОДИНЦОВ
Кубанский ГТУ (909. 463-49-55)

Статья посвящена истории развития автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД).

Ключевые слова: *автоматизированная система управления дорожным движением, адаптивная система управления, интеллектуальная транспортная система, навигационно-информационная система.*

Odintsov A.E.
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM

The article focuses on the automated traffic control system (ASUDD).

Keywords: *automated traffic control system, adaptive control system, intelligent transportation system, navigation and information system.*

Непрерывное увеличение численности автомобильного парка — свидетельство роста благосостояния населения. Но он, к сожалению, порождает и негативы: повышается аварийность дорожного движения, ухудшается экологическая обстановка, обычным становятся заторы и пробки. Все эти проблемы наиболее характерны для центральных районов старых городов с давно сформировавшейся (как правило, радиальной) застройкой. Но они обостряются и на пригородных магистралях. Поэтому над их решением буквально бьются федеральные и муниципальные власти. Однако успехов здесь, мягко говоря, не очень много. И единственный способ хотя бы частичного решения этих проблем — внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД). Они, конечно же, не могут оптимизировать все вопросы в области транспорта, но позволят в какой-то мере рационализировать использование имеющейся улично-дорожной сети, а следовательно, увеличить пропускную способность, сократить время АТС в пути, улучшить экологическую обстановку.

Что же такое АСУДД?

Названные выше проблемы появились не сегодня, о необходимости автоматизации процессов управления движением заговорили еще на первых этапах развития автотранспорта. Но затем, когда он становится все более массовым (начало 1960-х годов), появились первые системы управления дорожным движением. Они были телемеханическими, появились в первой половине 1950-х и позволяли хранить информацию о нескольких наборах параметров регулирования, которые называли планами координации. Эти планы представляли собой набор данных о длительности цикла и фаз движения транспортных потоков, а также сдвигах на перекрестках. Остальные параметры регулирования при исследованиях, как правило, задавались жестко.

Расчет плана координации для каждого значения цикла выполнялся вручную, графоаналитическим методом, т. е. путем вычерчивания схемы и ручного подбора управляющих параметров. Причем на построение одного плана для 10 перекрестков специалист-технолог затрачивал, судя по опыту, до трех рабочих дней. Единственным критерием качества плана являлась так называемая ширина ленты безостановочного движения.

Затем начался второй этап исследований, связанный с созданием алгоритма расчета параметров светофорного регулирования. Его основоположником стал Вебстер, который в 1958 г. разработал и программно реализовал ряд алгоритмов приближенного, а затем и точного расчета управляющих параметров на отдельных перекрестках.

СССР в сфере практического управления дорожным движением сильно отставал от Запада и начал заниматься этим фактически лишь в середине 1960-х годов. Что, в общем-то, вполне объяснимо: АТС, поскольку их парк был значительно меньше западного, проблем не создавал. Например, метод максимизации ширины ленты времени был разработан и применен в Европе в 1964 г. Специалисты СССР его создали в 1968 г., но он не был востребован. Более того, вышедшее в 1973 г. "Руководство по регулированию дорожного движения" содержало только эмпирические формулы, описывающие параметры регулирования на перекрестках, и практически не касалось расчетов планов координации. Только в середине 1980-х гг. в СКБ "Промавтоматика" были разработаны и программно реализованы методы расчета параметров светофорного регулирования на отдельных перекрестках.

За рубежом картина, как сказано выше, была другой. Более того, в Великобритании группа сотрудников TRL под руководством Д. Робертсона в начале 1970-х гг. такие планы разработала и программно реализовала метод расчет плана координации (TRANSYT), позволяющий строить планы координации (ПК) для транспортных сетей произвольной конфигурации и использующий информацию об интенсивностях транспортных потоков и взаимосвязях между этими потоками на соседних перекрестках. Затем шел процесс уточнения этого метода и расширения его возможности. В итоге ядро программы TRANSYT сейчас считается наиболее надежным, быстрым и удобным методом расчета плана координации, а выпущенная уже 14-я версия этого программного продукта модульно поддерживает подключение к таким программам моделирования, как Aimsun и VISSIM. В то же время АСУДД, созданные в 1970-х гг., позволяли реализовывать ряд алгоритмов гибкого регулирования дорожного движения.

Опыт расчетов планов координации показал, что для получения исходных данных необходимо трудоемкое обследование транспортных потоков. Эти стимулировало создание различного типа датчиков таких потоков, а их наличие привело к развитию алгоритмов гибкого регулирования и создало предпосылки для появления новых систем.

СССР с этой точки зрения, как сказано выше, несколько отставал от Запада: первые АСУДД на базе ЭВМ у нас начали создавать лишь в 1970-х гг. Но наши специалисты учли опыт специалистов зарубежных и создали АСУДД, в которых можно было использовать любые значения длительности циклов, фаз и сдвигов, оперативно менять последовательность фаз на пере-

крестке. Правда, по-прежнему оставалось невозможным оперативно изменять распределение направлений по фазам и структуры промежуточных тактов, а расчет планов координации оставался неавтоматизированным.

Однако так продолжалось недолго. Уже в конце 1970-х гг. начались работы по установке датчиков и включению в АСУДД алгоритмов адаптивного регулирования. При этом в большинстве случаев использовались петлевые детекторы транспорта. Но как у нас нередко случается, новое приживается медленно. Так получилось и с собранной петлевыми детекторами информацией: она для расчета планов координации практически не использовалась, поэтому датчики, как правило, не поддерживались в рабочем состоянии. Что привело к тому, что отечественные АСУДД были фактически дискредитированы. На Западе же (например, в той же Великобритании) создали системы третьего поколения. Наличие надежных датчиков и опыт их эксплуатации при сборе исходных данных для расчета планов координации подтолкнули к идее включения этого расчета в контур управления. Что и было реализовано в системах этого поколения. Технолог, таким образом, был освобожден от необходимости сбора, обработки и ввода данных.

Переход к третьему поколению произошел плавно, путем включения в уже существующие системы специальной подсистемы автоматического расчета. Причем важными особенностями этой системы стала ее децентрализация, что повысило надежность функционирования всей системы, и использование гибких алгоритмов управления.

С начала 1980-х гг. группа сотрудников TRL под руководством Д. Робертсона начала разработку метода сетевого адаптивного управления транспортными потоками (SCOOT). Дело в том, что использование заранее рассчитанных планов координации не позволяло оперативно реагировать на случайные изменения характеристик транспортных потоков. Например, если при небольших и средних интенсивностях движения случайные всплески этих интенсивностей не приводили к серьезным последствиям, ими можно было пренебречь, то при загрузке транспортной сети, приближающейся к 90 %, каждый случайный всплеск, как правило, приводит к затору.

Понятно, что такая проблема может быть решена только путем адаптивного управления, т. е. управления в режиме реального времени. Что, собственно, метод SCOOT и делает. Однако у SCOOT есть, к сожалению, одна особенность, которая сдерживает его распространение, — он требует изменения требований к числу и схеме расстановки датчиков. Тем не менее АСУДД четвертого поколения, использующая метод SCOOT, в настоящее время уже применяется в нескольких десятках городов, где загрузка транспортных сетей особенно велика. Так, установка этой системы в г. Торонто у хоккейного стадиона, вмещающего 50 тыс. зрителей, позволила снизить задержки автотранспорта, по сравнению с использовавшейся ранее системой третьего поколения, на 17 %, а остановки – на 22 %. Благодаря чему экономия топлива составила 6 %, количество вредных выбросов сократилось на 5 %.

Что касается развития российских АСУДД сегодня, то ее можно рассматривать на примере такого города, как Краснодар, где установлено 350 светофорных объектов. Связь с центром управления движения, и как следствие, возможность оперативного управления им в городе имеют лишь 250 из них, расположенных на семи магистральных улицах (Красная, Северная, Ставропольская, Седина, Красных партизан, Тургенева, Дзержинского). В итоге время проезда АТС по этим улицам сократилось на 15...20 % благодаря системным адаптерам ШКГЯ.426.415.015, выпускаемым ЗАО "РИПАС" (г. Санкт-Петербург) и работающим в волоконно-оптических сетях связи и радиосетях формата GSM (GRPS) выделенной сети (синхронизация осуществляется через сигналы спутников GPS). Более того, на ряде светофорных объектов реализованы такие адаптивные режимы управления, как поиск разрывов в транспортном потоке, определение длины очереди, фиксация присутствия АТС.

Что касается будущего, то наиболее перспективным вариантом, на взгляд автора, является объединение отдельных автоматизированных систем управления движения в единую интеллектуальную систему, способную не только анализировать и оперативно принимать решения, но и прогнозировать предполагаемую загруженность улично-дорожных сетей городов. Она должна создаваться на основе GPS/ГЛОНАСС и эффективно управлять наземным городским пассажирским транспортом, перевозками крупногабаритных и опасных грузов, координировать деятельность оперативных специальных и иных городских служб, обеспечивать равномерную загрузку транспортной сети на грани ее пропускной способности, не допуская перегрузки уязвимых зон. Кроме того, она должна прогнозировать развитие транспортной обстановки, иметь возможность изменять интенсивность потоков в местах, не имеющих стратегического значения для состояния дорожного движения в городе.

Не менее важной задачей такой интеллектуальной системы должно стать информирование водителя о существующей дорожно-транспортной ситуации. В частности, предлагать ему оптимальный маршрут движения с учетом загруженности улиц. Наконец, она могла бы решать и такую задачу: собирать АТС "в пачки" оптимального размера и, используя технические средства организации дорожного движения, максимально быстро "доставлять" их в пункт назначения. То есть управлять не только техническими средствами организации дорожного движения, но и самими транспортными потоками, перенаправляя и равномерно перераспределяя их по улично-дорожной сети и местам парковки. Причем все эти результаты могут быть получены даже при отсутствии хороших дорог.

Литература

1. Пеньшин Н.В., Пудовкин В.В., Колдашов А.Н., Ященко А.В. Организация и безопасность движения: учебн. пособие. Тамбов: Изд-во Бамб. Гос. техн. ун-та, 2006. — 96 с.

УДК 629.113

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д-р техн. наук. **Б.Н. БЕЛОУСОВ**, **С.В. НАУМОВ**,
канд. физ.-мат. наук **Т.И. КСЕНЕВИЧ**
МГТУ им. Н.Э. Баумана (499. 263-60-65)

Дается краткий обзор тенденций и направлений развития САУД автомобиля и проблем, которые при этом возникают.

Ключевые слова: *автоматическая система управления движением, система автоматического регулирования, автономное движение автомобиля, безопасность движения, кибербезопасность автомобиля.*

Belousov B.N., Naumov S.V., Ksenevich T.I.

MAIN WORLD TRENDS TOWARDS INTELLIGENT DRIVE CONTROL SYSTEMS

A overview of main trends and branches of development the advanced vehicle control systems towards a more sustainability transport are considered.

Keywords*: automatic vehicle control systems, cruise control, autonomous vehicle, safety, car cybersecurity.*

Транспортные мехатронные системы существенно повышают производительность и безопасность автомобильной техники, КПД использования топлива, снижают эксплуатационные затраты.

Это факт, который уже никак не оспаривается. Как и системы GPS-навигации и рабочее оборудование с собственным программным обеспечением. Поэтому разработкой новых автоматических систем управления (САУД) занимаются абсолютно все ведущие мировые автомобиле- и тракторостроительные фирмы.

Здесь, конечно, есть передовики и аутсайдеры. Например, наибольшего успеха достигла фирма "Даймлер-Бенц": ее представительские автомобили выполняют очень много функций, в том числе обеспечивают безопасное вождение, заменяя функции водителя. Более того, специалисты ведущих зарубежных фирм работают над созданием САУД с элементами саморазвития, т. е. над интеллектуальными системами автоматического управления АТС. Доказательство тому — недавно стартовавший (г. Вольфсбург, Германия) крупный Европейский исследовательский проект "Автономное вождение и технологии для интеллектуальных транспортных средств" (Automated Driving Applications & Technologies for Intelligent Vehicles, AdaptIVe) [1], в разработке которого приняли участие 29 субъектов — производители АТС, поставщики комплектующих, специалисты научно-исследовательских институтов и университетов, а также малых и средних предприятий.

Участники этого проекта, по замыслу, в течение 42 месяцев будут создавать и испытывать новые функциональные возможности автономного вождения легковых и грузовых автомобилей. Бюджет проекта составляет 25 млн евро, финансируется он ЕС.

Следует отметить, что автомобильная промышленность является лидером в области технологических разработок. Об этом, например, говорится в недавно опубликованном докладе Центра автомобильных исследований (Center for Automotive Research, CAR) [2]: эта отрасль тратит на инновации почти 100 млрд амер. долл., в том числе только США — 18 млрд долл./год (в среднем 1200 долл. на исследования и разработки в расчете на один автомобиль). Кроме того, она обеспечивает 16 % общемирового финансирования всех НИР и ОКР. На инновации у нее уходит в среднем 4 % от выручки, что на треть больше затрат, осуществляемых странами в целом. Для крупных же автомобилестроительных компаний расходы на инновации находятся еще на более высоком уровне — выше 5 %.

И еще несколько фактов. Десять автомобильных компаний доминируют в расходах на НИОКР в США: на их долю приходится 80 % общих расходов на НИР и ОКР (14 млрд долл.). Степень оснащения электронными системами автомобилей резко увеличилась, расширились функции этих систем, что позволяет повысить уровни безопасности, производительности и эффективности транспортных средств. Теперь автомобиль содержит ~60 микропроцессоров, что в 4 раза больше, чем 10 лет назад. Традиционно 3...5 % общего числа патентов, выданных в США, принадлежат автопрому, и это ~5 тыс. новых патентов в год.

Отсюда и бурное развитие автомобильной техники. Например, фирм "Денсо" [3], "Континенталь" [4], "Ниссан" [5], "Мерседес-Бенц" [6] и "Хонда" [7] предсказывают, что первый автономный (самоуправляемый) автомобиль с САУД попадет в демонстрационные залы уже в период между 2020 и 2025 гг., т. е. через пять—шесть лет. К примеру, "Мерседес-Бенц" [6] в последнее время дополнила системы, предназначенные для помощи водителю, такими новыми функциями, которые теперь способны помочь ему в гораздо большем числе сложных ситуаций. Эти системы, построенные на датчиках, изготовленных по новым технологиям, могут контролировать ситуацию вокруг автомобиля, помогать водителю, предупреждать его и снимать с него часть нагрузки.

Эту систему фирма назвала системой "умного вождения". И, тем не менее, продолжает работы в этом направлении и, судя по сообщениям в печати, она в ближайшее время сможет предложить рынку принципиально новую систему-класс автомобиля, в конструкции которого комфорт и безопасность объединены в одно целое.

Специалисты фирмы утверждают, что эта система предназначена для серии S-класса, выпуск которой начался в 2013 г. Они говорят, что у таких автомобилей будут не только "глаза" спереди, но и система кругового обзора. И что будет обеспечена координация всех систем.

Такую всеобъемлющую систему они назвали системой "сенсор фьюжн".

Не отстают от "Мерседес-Бенц" и другие концерны. Они создают новые системы, которые обладают колоссальным потенциалом предотвращения аварий и смягчения их последствий [8].

Например, система "Дистроник плюс" помогает водителю держать свою полосу движения, а при медленной езде — автоматически ехать за впереди идущим автомобилем. Система "Пре-Сайф" обнаруживает пешеходов и самостоятельно включает торможение, если скорость автомобиля не выше 50 км/ч.

В настоящее время появились и другие "умные" системы. В их числе система "Пре-Сайф Плюс", способная распознать вероятный или неизбежный удар сзади и помогающая системе пассивной безопасности включить защиту пассажиров. Кроме того, она также способна жестко фиксировать стояночный тормоз, чтобы в случае удара сзади не вызвать вторичных столкновений.

Есть и другие разработки.

Так, система "Пре-Сайф Импульс" с помощью ремней безопасности оттягивает назад по отношению к направлению удара водителя и переднего пассажира на раннем этапе столкновения, т.е. перед тем, как их ускорение начнет нарастать, что существенно снижает серьезность травм и увечий при лобовом столкновении АТС. Система контроля полосы обнаруживает встречный поток и если соседняя полоса встречного движения занята, то блокирует (с помощью тормозов) возможность выезда на эту полосу. Адаптивная система дальнего света дает возможность держать фары дальнего света постоянно включенными и не ослеплять водителей встречных АТС, система ночного видения предупреждает водителя об опасности, которую представляют собой пешеходы или животные, находящиеся в неосвещенных зонах впереди автомобиля. Система "Эттеншн Эссистс" способна предупреждать водителя о снижении его внимания или наступлении состояния дремоты.

Все перечисленные выше системы пока что находятся, так сказать, в эмбриональном состоянии. Но за ними — будущее.

Теперь о некоторых частностях рассматриваемых систем.

Первая из них — датчики и камеры. Традиционные для "Мерседес-Бенц" системы "Дистроник Плюс" (помощь водителю), а также новые "БАС-Плюс" и "Пре-Сайф" (с автономным включением тормозов) используют упоминавшуюся выше концепцию "сенсор фьюжн" и общие стереокамеру и многоступенчатые радиолокационные датчики. Однако специалисты "Мерседес-Бенц" считают, что переход от многофункциональной камеры (MPC) к стереокамере (SMPC), которая ставится как и MPC за лобовым стеклом, около зеркала заднего вида, с углом обзора 45°; два ее "глаза" создают, как и глаза человека, трехмерное изображение пространства на расстоянии ~50 м и позволяют контролировать общую ситуацию до 500 м.

Таким образом, новая камера способна поставлять другим системам довольно много исходной информации, а их блоки управления оценивают ее, обнаруживая и выполняя пространственную классификацию едущих впереди, встречных и поперечных АТС, пешеходов, дорожных знаков и неподвижных препятствий.

Но в рассматриваемой системе есть радиолокационные датчики, которые поставляют дополнительную информацию. Она состоит из двух радаров, установленных на переднем бампере и работающих на дальность в 30 м (угол раскрытия 80°), а также радара дальнего (до 200 м) действия (угол раскрытия 18°), который имеет, кроме того, функцию среднедальнего (60 м, угол 60°) сканирования.

Все данные от камеры и радаров поступают в блок управления — контроллер, который затем выдает команды в системы автомобиля.

В рассматриваемую систему "Мерседес-Бенц" входят также два ближних радара для обзора сбоку и сзади (30 м, 80°); один многомодовый радар заднего вида (30 м, 80° или 80 м, 16°); 12 ультразвуковых датчиков (по четыре спереди и сзади и по два слева и справа — в переднем и заднем бамперах); четыре камеры, образующие систему полного кругового обзора: по одной впереди на решетке радиатора и сзади — в углублении ручки багажника и по одной же — в нижней части корпуса левого и правого зеркал заднего вида; каждая из камер имеет вертикальный раскрыв, равный ~130°, горизонтальный — более 180°, разрешение — 1 мегапиксель (матрица 1280 × 800 пикселей).

Входят в нее и датчики внутри салона, задача которых — следить за качеством вождения и реакцией водителя. Если эти датчики обнаруживают опасную ситуацию, то они выдают в соответствующие системы команды-сигналы с целью оказания помощи водителю в конкретной ситуации.

Используемая "Мерседес-Бенц" система "Дистроник Плюс" — это, по сути, адаптивная система помощи водителю; она удерживает АТС на заданном расстоянии от впереди идущего автомобиля. Ее новый вариант тоже работает на основе радаров, но обладает еще одной функцией: помогает водителю держать центр своей полосы движения, генерируя соответствующий приложенный к рулю крутящий момент.

В этом случае стереокамера распознает дорожную разметку, определяет трехмерную позицию идущих впереди АТС и передает полученную информацию в блок управления. Причем при езде на малой скорости (например, внутри насыщенного транспортного потока) эта стереокамера может использовать впереди идущий автомобиль для ориентации и обеспечивает полуавтоматическое следование за ним даже при отсутствии четко различимых знаков дорожной разметки.

Как видно из сказанного выше, в основе новой системы лежит стереокамера, встроенная в систему "Дистроник Плюс". То есть система объединяет достоинства двух (традиционной и новой) технологий, вычис-

ляет требуемые реакции и регулирует — в зависимости от обстановки — мощность двигателя, трансмиссию и тормоза, а также следит за дорожной ситуацией позади автомобиля.

Это новая версия системы включается так же, как и традиционная система, — рычажком на рулевой колонке и действует в диапазоне скоростей до 200 км/ч. Причем любая скорость между 30 и 200 км/ч может быть задана в качестве крейсерской.

При включении системы на экране инструментальной панели появляется зеленая "иконка" рулевого колеса. В то же время информация о прямолинейном движении (функция "круиз-контроля") выводится, как и в традиционной системе, на дисплей скорости с помощью круговых сегментов и стрелки спидометра.

При наличии такой системы водитель должен постоянно держать руки на руле, даже если она включена, так как эта функция работает только до определенного радиуса поворота, который зависит от скорости движения. Эта особенность вождения оговорена законодательно: закон не допускает полностью автоматического ("без рук") управления поворотом. Поэтому в схеме системы предусмотрены датчики, способные следить за тем, чтобы руки водителя все время были действительно на руле. Если их нет, то сначала выдается визуальная информация. При отсутствии реакции на подсказку звучит предупредительный сигнал, а потом отключается система поперечного контроля полос.

Как при традиционной, так и при новой системе водитель может в любой момент отключить систему помощи. Например, если он начинает менять полосу движения, то функция заднего слежения переключается в пассивный режим на все время маневра.

Возможности новой версии системы "Дистроник Плюс" при движении по прямой также усилены: она способна тормозить без вмешательства водителя при замедлении до 5 м/с^2.

Теперь о системе "БАС Плюс" с контролем поперечного движения. Она за счет торможения помогает избежать столкновения с впереди идущим транспортным средством, а также — за счет новой функции контроля поперечного движения — помочь водителю избежать столкновения при пересечении перекрестков.

Эта система "предвидит" опасную ситуацию, и с помощью визуальной звуковой сигнализации сообщает водителю: включи экстренное торможение. Но если водитель, получив такой сигнал, нажимает на педаль тормоза слишком нерешительно, то она автоматически усилит давление на тормоз до уровня, соответствующего экстренному торможению АТС.

Третья из рассматриваемых систем безопасности АТС — активная система удержания движения — тоже выпускается в новой версии. Ее задача — вмешаться в управление, если водитель непреднамеренно пересечет пунктирную разметку, когда соседняя полоса несвободна и такой маневр создает угрозу безопасности движения.

Эта система тоже основана на информации стереокамеры и радаров. Только в нее добавлен еще один задний датчик, который работает в унисон с другими датчиками, расположенными в переднем и заднем бамперах.

Такая система не только распознает критические ситуации, связанные с обгоняющими и обгоняемыми транспортными средствами, но и способна эффективно реагировать на встречное движение. Например, если она обнаружит, что ее АТС пересекает разметку полос, а соседняя полоса несвободна, то она не только включит импульсную вибрацию рулевого колеса, тактильно предупреждая водителя, но и вернет автомобиль на исходную полосу, включив электронную систему курсовой устойчивости (EBP), которая подтормозит колеса одного борта АТС.

Таким образом, получается полезное дополнение системы контроля участков плохой обзорности ("мёртвых зон"), позволяющее предотвратить лобовые столкновения с их тяжелейшими последствиями.

Система удержания полосы движения работает на скоростях от 60 до 200 км/ч. Однако работает она не всегда. В частности, если она обнаруживает, что водитель, выполняя разгон или торможение АТС, включился в управление, то функции предупреждения и корректирующего торможения отключаются.

Четвертая новая система — система "Трафик Сигн Эссист" (распознавание дорожных знаков). Она развивает возможности предыдущей системы ограничения скорости: способна распознать зоны, запрещенные для проезда, и предупреждать водителя о введенных дорожных ограничениях.

Работает система следующим образом. Установленная за лобовым стеклом автомобиля видеокамера следит за всеми знаками — постоянными и временными — ограничения скорости движения. Данные, снятые ею, сопоставляются с информацией системы навигации и могут выводиться как на экран инструментальной панели, так и на карту навигатора. Если камера не видит никакого знака ограничения скорости или зона действия такого знака закончилась, то система показывает законодательно установленный предел скорости, взятый из навигации (например, для Германии — 100 км/ч на местных дорогах или 50 км/ч в зонах городской застройки).

Она также регистрирует и показывает на экране зоны, запрещенные для обгона, и знаки конца действия ограничений, а если встретилась зона, запрещенная для въезда, то дополнительно к визуальному сообщению на панели подает звуковой предупредительный сигнал.

Пятая из систем, применяемых на зарубежных АТС, система "Эттеншн эссист", построена исходя из того, что четверть всех ДТП на автострадах Германии связана именно со снижением внимания водителя (дремота, полусон). Учитывая это, фирма "Мерседес-Бенц" создала систему, которая способна обнаружить, анализируя изменение характера вождения, и по ряду других признаков, потерю внимания у водителя и подать ему соответствующий сигнал.

Другие производители АТС не только приняли это нововведение, но и усовершенствовали его. В частности, последняя версия системы способна обнаруживать даже признаки сонливости и потери внимания водителя на скоростях движения АТС, равных 60...200 км/ч. Причем ее чувствительность может настраиваться. Например, определять, что водитель, который садится за

руль, уже устал. Более того, на дисплее показывается степень его утомления.

Шестая система — система активной помощи при парковке, которая автоматизирует процесс с помощью активного руления и контроля тормозов как при параллельном, так и перпендикулярном относительно парковочных мест на стоянках. Она — усовершенствованная версия ранее применявшейся системы "Парктроник", которая также могла руководить парковкой. Но та требовала активного внимания водителя АТС, а эта способна автоматически вывести автомобиль из параллельного парковочного места, если парковка в него также была выполнена автоматически.

Работает рассматриваемая система парковки следующим образом.

При движении на скорости ниже 30 км/ч ультразвуковые датчики увеличенной дальности действия, размещенные в боковых секциях бамперов, сканируют ближайшую обочину в поисках места для параллельной или перпендикулярной парковки. Причем если водитель прикажет, то эта операция будет выполняться и в отношении противоположной обочины.

Специальная "иконка" на инструментальной панели выдает сигнал: "система — в процессе измерений". Затем, как только будет найдено подходящее (достаточное) место для парковки, рядом с "иконкой" появляется стрелка, показывающая, что система готова к автоматической парковке. Все, что теперь нужно сделать водителю, это включить задний ход и нажать кнопку "OK" на рулевом колесе. Далее система сама руководит двигателем и тормозами, показывая водителю выполняемые действия на дисплее (например, какую передачу ему нужно включить). Водителю остается лишь слегка надавить на газ и снять ногу с педали тормоза.

Такой технологический прогресс в автомобильной промышленности требует разработки стандартов и их применения гораздо быстрее, чем это было до настоящего времени. В этой связи комитет Международного общества инженеров мобильной техники SAE по наземным автоматизированным транспортным средствам опубликовал информационный доклад о новом стандарте (J3016) "Таксономия и определение терминов, относящихся к наземным автотранспортным средствам с автоматизированной системой управления" ("Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems") [9]. Этот доклад содержит информацию о таксономии, описание полного диапазона уровней автоматизации наземных транспортных средств и обеспечивает основу для дальнейшей деятельности по разработке стандартов и выработке общей терминологии для автоматизированных автономных транспортных средств.

Успешно проведенные тест-драйвы автономных систем управления позволили исследователям фирмы "Мерседес-Бенц" собрать информацию о проблемах, которые еще предстоит решить на пути создания высокой и полностью автоматизированных систем вождения. И в первую очередь то, что позволит автомобилю осуществлять безопасную навигацию в ситуациях любой сложности (работа светофоров, перекрестки с круговым движением, поведение пешеходов и т. д.).

И это не только идеи. Они уже реализованы на новых моделях автомобилей "Мерседес-Бенц" классов E и S. Эти автомобили оборудованы системами "Дистроник Плюс" с функциями "помощь при вождении" и "пилот старт-стоп", которые дают возможность автомобилю практически автономно двигаться в дорожных пробках. То есть эта система образует основу того, что называют интеллектуальным вождением, которая объединяет в единую интеллектуальную сеть все системы безопасности и комфортного вождения, обеспечивая полностью безаварийное и — в значительной степени — истинно автономное вождение.

Решая проблему создания систем автомобиля, влияющих на безопасность его эксплуатации и предотвращающих возникновение потенциально опасных дорожных ситуаций, производители автомобильной техники вынуждены, естественно, решать и возникшую при появлении данных систем проблему кибербезопасности. Дело в том, что в рассматриваемой проблеме существует риск двух основных категорий, связанных с системами связи: это нападения (риски безопасности) и уровень приемлемости рассматриваемых систем для пользователя. При этом особенно опасны атаки хакеров. Они непосредственно влияют на безопасность пользователей и косвенно — на системы связи. Совершая такие атаки, хакеры преследуют две цели: с одной стороны, мешают действиям пользователя, что приводит к ДТП, заторам на дорогах и т. д., а с другой — уменьшают доверие пользователей к системе якобы из-за ее ненадежности [10].

Но с хакерами борются: их действия подпадают под законы о защите личной информации. Они угрожают конфиденциальности информации и принуждают водителей к дополнительным действиям внутри системы.

Чтобы исключить эти угрозы, необходимы, по мнению авторов, не только правовые, но и технические инструменты [11]. И один из таких инструментов — беспроводная связь малой дальности, используемая для передачи данных и динамического обмена ими между различными типами и объектами транспортного цикла ("автомобиль—автомобиль").

Достоинство рассмотренных выше решений состоит в том, что они дают достоверную информацию, позволяющую оперативно принимать меры по снижению (прежде всего) числа ДТП. И нам, в России, этот зарубежный опыт нужно не только изучать, но и внедрять.

Литература

1. http://www.rusaen.ru/index.php/main/item/news/1691.html
2. http://cargroup.org/?module=Publications&event=View&pubID=103
3. Связь V2X — новая возможность в обеспечении безопасности. http://www.sae.org/mags/sve/12240
4. http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/
5. http://www.rusaen.ru/index.php/main/item/news/1348.html
6. http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-1628556-1-1629809-1-0-0-0-0-0-11700-0-0-1-0-0-0-0-0.html
7. http://www.sae.org/mags/sve/12241
8. http://standards.sae.org/j3016_201401
9. http://articles.sae.org/13089/
10. http://www.swri.org/9what/releases/2013/aces.htm#.VEoV4UoxSBq
11. http://articles.sae.org/12490/

УДК 625.71.032.3

КОЛЕСО: ОБРЕТЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ И НАЧАЛО АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭРЫ

Д-р техн. наук **И.В. БАЛАБИН**
Университет машиностроения (МАМИ) (495. 223-05-23)

По мере повышения скорости передвижения транспортных средств проблема создаваемого ими шума, особенно в условиях городских кварталов, становилась все более острой. Поэтому специалисты в этой области все чаще и чаще предпринимали попытки найти способы защиты колеса от воздействия неровностей дороги, в том числе и с помощью эластичной оболочки, заполненной сжатым воздухом. Именно такое решение было запатентовано Томсоном в 1845 г., однако оно оказалось невостребованным более полувека. И только в 1888 г. его соотечественник Данлоп зарегистрировал патент, который содержал описание эластичной шины в виде резиновой трубки (шланга), наполненной сжатым воздухом.

Однако сведений о том, что собой представляет это изобретение, т. е. какова же реальная конструкция шины Данлопа, в литературе не сохранилось. Но потребность в такой шине оказалась настолько острой, что этому патенту суждено было стать судьбоносным.

Понимание того, что повышение скорости движения автомобилей находится на стыке колеса и дороги, а отнюдь не в наращивании мощности их силовых установок и что изобретение Данлопа — наилучший вариант решения проблемы, специалисты активизировали усилия в этом направлении. И самыми активными здесь были братья Мишлен, которые занимали ведущее положение в мировом автомобилестроении. Начался поиск, связанный с необходимостью преодоления многочисленных трудностей при разработке конструкции колеса с пневматической шиной, в результате которого они создали работоспособное автомобильное колесо с пневматической шиной, причем, бескамерного типа. Но такой колесный узел требовал герметизации. И для надежного удержания сжатого воздуха в рабочей полости шины было предложено радикальное решение — специальная резиновая рубашка, так называемая ездовая камера, которая сообщалась с атмосферой только узким каналом для наполнения и выпуска сжатого воздуха.

Новая конструкция автомобильного колеса получила всеобщее признание, поскольку позволила повысить скорость автомобиля до нескольких десятков километров в час, что по тому времени, безусловно, было прорывным техническим решением. Так родилась ныне всемирно известная фирма "Мишлен", давшая затем миру, по сути, основные этапные технические решения проблем автомобильного колеса. В настоящее время эта фирма удерживает первенство по объему мирового производства пневматических шин различного назначения, а в ее лабораториях и КБ создаются новые современные образцы, отличающиеся улучшенными энергосберегающими и экологическими характеристиками.

Огромный вклад в разработку и производство пневматических шин внесли специалисты в области шинных материалов, которые из обычного природного непрочного материала в виде застывшего древесного сока тропического дерева, гевеи, получили великолепный материал — резину. Она обладает достаточной прочностью и эластичностью. Ей в настоящее время нет достойной альтернативы, без нее не обходится ни один современный механизм.

Первые пневматические шины имели форму тора — вариант того резинового шланга, который использовал Данлоп в своем патенте. Беговая дорожка шин была гладкой, а ее тело представляло собой однородную структуру и не содержало армирующих волокон, которые появились позже как эффективное средство повышения прочности и ограничения чрезмерно большой деформации резиновой оболочки. Это новшество оказалась настолько эффективным, что уже вскоре все пневматические шины содержали усиливающую ткань, которая помогла существенно повысить прочность шины, не снижая ее эластичности. Однако вскоре стало очевидным: дальнейшее увеличение скорости автомобиля невозможно из-за недостаточной прочности и чрезмерной деформации шины. Шина, армированная тканью, сохраняя главное свое достоинство — способность поглощения виброакустических нагрузок, приобрела необходимую для характерных для того времени повышенных скоростей несущую способность.

В настоящее время композит из резины и прочных армирующих нитей воспринимается как привычный и естественный материал. И надо признать, что его появление как с точки зрения конструкции этого нового вида ткани, получившей название корд, так и с позиции технологии армирования, обеспечивающей прочную адгезию корда с резиной, было не менее прорывным событием, чем сама шина.

Особенность современной кордной ткани (рис. 1) состоит в том, что ее составляющие выполняют различные функции: прочная основа берет на себя основную нагрузку, а

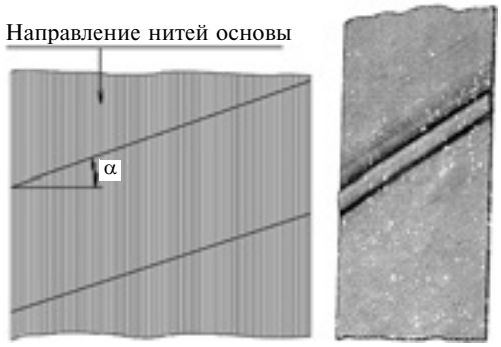


Рис. 1

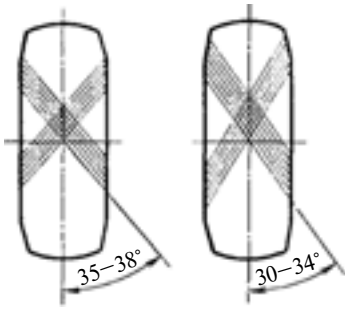


Рис. 2

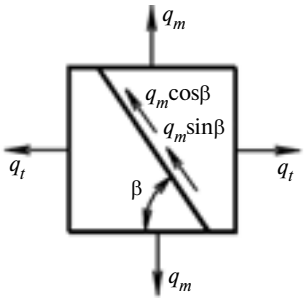


Рис. 3

уток, состоящий из весьма разреженных тонких непрочных нитей, сохраняет структуру ткани (основы) до ее обрезинивания. После этой операции функции уточных нитей оказываются ненужными, а их наличие не создает опасности перетирания нитей основы при работе шины.

Первые образцы армированных шин, по всей видимости, имели только один слой кордной ткани, нити основы которой должны были располагаться под некоторым углом к меридиану оболочки, так как только при этом условии стенки шины могли воспринимать окружные и меридиональные усилия, возникающие при наполнении ее сжатым воздухом.

Этот вывод основан на элементарных зависимостях плоской задачи строительной механики. В соответствии с ней, нить кордной ткани под углом к меридиану (рис. 2) воспринимает как меридиональные усилия ($q_m\cos\beta$), так и окружные — $q_t\sin\beta$. Нити, расположенные вдоль меридиана, не воспринимают окружные усилия, а ориентированные в экваториальном направлении — не способны брать на себя меридиональные усилия. Неизвестно, каким именно был выбран угол наклона нитей на первых образцах шин, но при угле наклона, близком к 45°, кордная нить способна воспринимать и те и другие усилия в равных долях.

Осознав положительное влияние армирования стенок шины, производители стали увеличивать число кордных слоев, располагая нити соседних слоев перекрестно (рис. 3), выбирая тот или иной (в зависимости от многих факторов) угол их наклона. При этом элементарная ромбическая ячейка (рис. 4, *а*) в момент наполнения шины воздухом претерпевает некоторые изменения конфигурации (рис. 4, *б*), а затем, при наступлении равновесного состояния, остается неизменной пока на шину воздействуют меридиональные и осевые усилия, приложенные в вершинах ромбов и совпадающие с направлением главных осей (рис. 4, *в*). Тем самым исключается появление сдвиговых деформаций и освобождается резина от силового воздействия, полностью сосредоточивая их на нерастяжимых нитях корда.

Такая конфигурация каркаса долгое время считалась оптимальной и единственно возможной вплоть до появления радиальных шин, которые опровергли незыблемость теории наклонного положения нитей корда, а предшествующая радиальной схеме каркаса получила название диагональной.

Что же касается собственно конструкции корда, то она в последнее время претерпела существенные изменения. Так, на смену хлопчатобумажным тканям пришли более прочные синтетические материалы (капрон, нейлон, анид), все более широкое применение находит металлокорд, обладающий высокой прочностью и стабильностью деформационных характеристик, благодаря чему разнашиваемость шины (из-за некоторого увеличения ее габаритов в процессе эксплуатации) сводится к минимуму. Кроме того, повышение прочности корда дает возможность уменьшить слойность каркаса (до одного), что благоприятно сказывается на ходимости шины, снижении ее массы, а следовательно, напряжениях поверхностных слоев при изгибе боковин и ее температурном режиме при повышенных скоростях автомобиля.

Первый опыт эксплуатации шин показал, что гладкая беговая дорожка не обеспечивает надежного сцепления с влажной дорогой. Поэтому на дорожку стали наносить рифления, а затем "специализировать" ри-

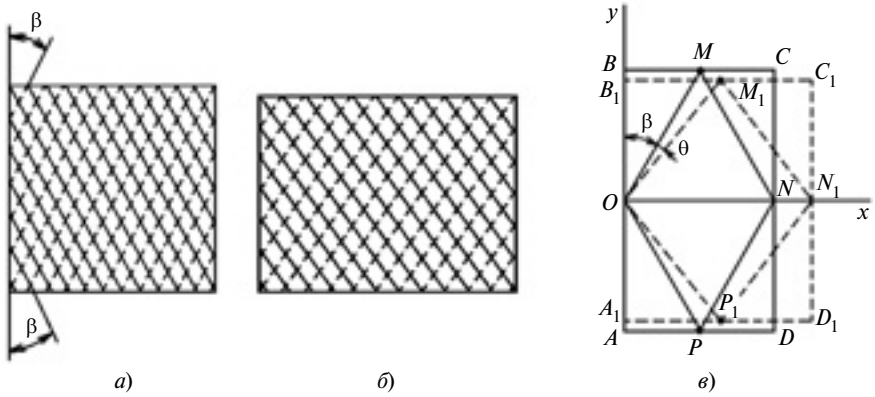


Рис. 4

сунок и подбирать глубину протектора в зависимости от состояния дороги. Так, протектор шин, предназначенных для дороги с гладким сухим покрытием, имеет насыщенный рисунок, обеспечивающий наибольшую площадь контакта выступающих его элементов с опорной поверхностью, что уменьшает интенсивность его износа. Для дорожного покрытия в мокром состоянии важно интенсивное удаление влаги из контакта и предотвращение аквапланирования (образование водяного клина между колесом и дорогой), в результате чего автомобиль становится неуправляемым. Для дорог, не имеющих твердого искусственного покрытия, преимущество имеет достаточно расчлененный рисунок и повышенная высота грунтозацепов, которые внедряются на большую глубину и тем самым увеличивают тяговую способность колеса. Расстояние между грунтозацепами достаточно большое, что способствует самоочищению шины от прилипающей грязи.

В связи с тем, что сцепные свойства шин в значительной степени зависят от состояния дорожного покрытия, их сортамент в настоящее время довольно широк. Он включает несколько вариантов шин, предназначенных для работы в условиях скоростных магистралей с гладким покрытием в хорошем состоянии (рис. 5, *а*), шин повышенной проходимости (рис. 5, *б*) — для эксплуатации на дорогах, не имеющих твердого покрытия (грунтовых и щебеночно-грунтовых дорог), с универсальным рисунком протектора (см. рис. 5, *в*) — для дорог со смешанным покрытием.

Протектор пневматической шины не только обеспечивает необходимое сцепление колеса с опорной поверхностью, т. е. надежную реализацию тягово-тормозных свойств и устойчивость движения автомобиля, что особенно важно в условиях мокрого, загрязненного или снежного покрытия дорог, от его толщины зависит и ресурс шины. И с этой точки зрения, казалось бы, чем толще протектор, тем большей ходимостью обладает шина, а также в значительной степени она защищена от проколов. Однако с увеличением толщины шины возрастают ее масса и момент инерции, а также тепловыделение при качении, связанное с деформационными процессами оболочки. Что отрицательно влияет на общий температурный фон шины, а следовательно, и на ее работоспособность. В связи с этим толщина протектора шин для легковых автомобилей в настоящее время составляет не более 11 мм, а для грузовых она колеблется от 15 до 20 мм.

а) *б*) *в*)

Рис. 5

Износостойкие качества резины зависят от ее твердости. Поэтому протектор современных шин выполняют из резин различной твердости: поверхностный слой — из резины повышенной твердости, а глубинные слои — из относительно мягких резин, плавно переходящих к армированной части шины, предотвращая опасность отслоения протектора.

Чтобы не увеличивать глубину протектора во избежание повышенных напряжений у основания грунтозацепов и повысить ресурс шин, в протекторе предусмотрен подканавочный слой, который используется для нарезки рисунка, тем самым продлевая ресурс шины после полного износа изначальной глубины рисунка протектора.

Рис. 6

Но работоспособность пневматической шины зависит от надежного ее закрепления на ободе. С этой целью в первоначальных конструкциях шин (точнее, в их бортовой части) предусматривались утолщения, которые при монтаже заводились в специальные пазы на ободе, обеспечивая более или менее плотное ее удержание при избыточном давлении воздуха, а также при движении с относительно небольшой скоростью.

Однако с ростом скорости движения и увеличением нагрузок этот тип крепления все более явно обнаруживал свои недостатки и заставил продолжить поиск более надежного и работоспособного варианта крепления. В результате появились прямобортные шины. У них борта выполнялись без специальных утолщений и своей торцевой частью ориентировались на посадочной полке обода, а надежное удержание осуществлялось за счет расположенных внутри борта колец из стальной проволоки, вокруг которой располагаются слои корда (рис. 6). Такое решение оказалось исключительно удачным.

Вскоре конструкция шины с расположенными в ее бортовой части проволочными кольцами завоевала общее признание. Более того, она сохранилась до наших дней, как весьма эффективное, кардинальное решение одной из серьезных проблем.

ОСОБАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА "АЛАБУГА": ИТОГИ ГОДА

В 2014 г. объем фактически вложенных инвестиций резидентов составил 23,3 млрд руб., по сравнению с предыдущим годом данный показатель вырос на 7 %, или 1,5 млрд руб. в денежном выражении. При этом с начала деятельности ОЭЗ объем налоговых отчислений резидентов во все уровни бюджета составил 9,7 млрд руб., в том числе 2,3 млрд руб. — за 2014 г. Важным событием для ОЭЗ стало прошедшее в апреле заседание Консультативного совета по иностранным инвестициям под председательством первого вице-премьера И. И. Шувалова. ОЭЗ посетили руководители 48 международных компаний, ведущих бизнес в России и в совокупности проинвестировавших более 100 млрд дол. США в экономику страны.

Завершено строительство первого пускового комплекса крупнейшего частного индустриального парка "А Плюс Парк Алабуга" на территории Особой экономической зоны "Алабуга". Общая площадь индустриального парка составит 200 тыс. м^2. В 2014 г. количество действующих на территории ОЭЗ производств увеличилось с 9 до 14, в том числе был запущен крупнейший в Европе завод по производству древесных плит МДФ "Kastamonu". Начались занятия в первой в Поволжье международной школе *"Alabuga International School"*. После открытия распределительной подстанции 110 кВ для резидентов ОЭЗ "Алабуга" стала доступна первая категория надежности электроснабжения.

В следующем году на территории ОЭЗ "Алабуга" запустятся как минимум семь новых производств, в настоящее время находящихся на разных стадиях завершения строительных и пусконаладочных работ. Производство будет официально запущено на заводах по производству листового и автомобильного стекла "Тракья Гласс Рус" и "Аутомотив Гласс Альянс Рус". Конвейерная линия начнет работать в производственно-распределительном центре "Хави Логистикс". "Хухтамаки" запустит производство одноразовой посуды. Производство потолков и подвесных систем официально стартует на заводе "Армстронг Билдинг Продактс". ХК "Композит" откроет завод "Алабуга-Волокно" по производству углеродных волокон. Производство санитарно-гигиенической бумажной продукции начнется на заводе "Хаят Кимья". Такие резиденты как "Алабуга-Моторс", "Инжиниринговый центр "Интерскол", "НЦК Алабуга", "КамГеоТекс" и "Мир упаковки" начнут производственную деятельность в готовых производственных площадях индустриального парка "Синергия".

В связи с текущей ситуацией в экономике страны можно подтвердить наличие двух тенденций. Во-первых, растет интерес российских компаний к инвестициям в реальный сектор. Во-вторых, повышенный интерес к российскому рынку проявляют китайские производственные компании. В 2015 г. Россия, как и ранее, остается страной с богатой ресурсной базой и большим внутренним рынком, а Татарстан — стабильным регионом с сильными традициями промышленного производства и возможностью локализации новых. Особая экономическая зона "Алабуга" останется наиболее привлекательной площадкой для российских и иностранных инвестиций в промышленное производство. В ходе прошедшего в декабре заседания наблюдательного совета ОЭЗ "Алабуга" акционеры утвердили умеренный план дальнейшего развития особой экономической зоны. Данный план предполагает, что в 2015 г. продолжится умеренный прирост числа компаний инвесторов и количества создаваемых ими рабочих мест.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Бурганова Н.Т. — Управление развитием персонала предприятия 1

Мочалин С.М., Тюкина Л.В. — Идентификация цепей поставок в автомобильной промышленности 2

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Егоров А.Н., Трухнов Л.И., Насковец А.М. — БелАЗ-7558 — новая линейка самосвалов с электромеханической трансмиссией переменного тока грузоподъемностью 90 т 5

Шухман С.Б., Коркин С.Н., Курмаев Р.Х., Капралова М.А. — Построение автопоездов с активными прицепными звеньями, предназначенных для движения в тяжелых дорожных условиях 7

Свияженинов Е.Д. — Наддув ДВС с резонансным топливовоздушным образованием 9

Драгунов Д.Г., Лоскутников И.А. — Определение динамических характеристик автомобиля высокой проходимости при переключении передач изменением межосевого расстояния 14

Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Гридчина И.Н., Пахомова Е.В. — Новые тягово-сцепные устройства для легковесных автопоездов . . . 17

Дубин А.Е., Нестеров В.Е. — Перспективные большегрузные амфибийные транспортные средства на воздушной подушке для работы в Арктической зоне России: основные тактико-технические требования и компоновочные схемы 21

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АТС

Жималин А.В., Мороз С.М. — Ступенчатое регулирование наработки до ТО по мере выработки ресурса КТС 25

Быченко Н.В., Девяткин Д.Е., Скапцов Е.В., Суменков Н.А., Шапран В.Н. — Диагностирование топливной аппаратуры дизелей с использованием параметрических моделей 27

Одинцов А.Е. — Развитие автоматизированных систем управления дорожным движением 31

ИНФОРМАЦИЯ

За рубежом

Белоусов Б.Н., Наумов С.В., Ксеневич Т.И. — Тенденции развития автомобильных интеллектуальных систем управления . . . 33

Из истории отечественного автомобилестроения

Балабин И.В. — Колесо: обретение пневматической шины и начало автомобильной эры 37

Коротко о разном 40

Главный редактор Н. А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Белорусский региональный редакционный совет:

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

Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 06.11.2014. Подписано в печать 21.01.2015.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

ООО «Издательство Машиностроение»

Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Телефоны: (915) 412-52-56, (499) 269-54-98
E-mail: avtoprom-atd@mail.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПН № 77-7184
Цена свободная.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней. За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.

Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.