ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

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

№ 5 • май • 2019

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113:339.137.2

РАЗРАБОТКА И РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЙ

Д-р техн. наук **КОЗЛОВСКИЙ В.Н.**, канд. техн. наук **АЙДАРОВ Д.В.**, **ПАНЮКОВ Д.И.**, **ШАНИН С.А.**
Самарский ГТУ, Поволжский ГУ сервиса, КамАЗ (846.278-44-60)

Представлены результаты анализа существующих практик разработки систем менеджмента качества ведущих корпораций автопроизводителей.

Ключевые слова: *система менеджмента качества, автомобильная промышленность.*

Kozlovskiy V.N., Aydarov D.V., Panyukov D.I., Shanin S.A.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS FOR AUTOMOBILE CORPORATIONS

The article presents the results of the analysis of existing practices of developing quality management systems of leading automaker corporations.

Keywords: *quality management system, automotive industry.*

Основным инструментарием построения ландшафта процессов СМК на сегодняшний день остаётся методология *IDEF0*, которая заключается в представлении любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе. В рамках рассматриваемой методологии всё, что происходит в системе и её элементах, принято называть функциями. Каждой функции ставится в соответствие блок. На *IDEF0*-диаграмме, основном документе при анализе и проектировании систем, каждый блок изображается прямоугольником. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, представляется стрелками, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описываемая блоком, осуществлялась. Процессную модель организации в общем виде можно представить в виде структуры, показанной на рис. 1.

В соответствии с установленными в рамках единой СМК организации производится разработка и реализация целей и показателей её процессов в виде управляющего воздействия на бизнес-процессы. Процессы организации должны быть ориентированы на выявление и реализацию потребностей потребителей. Важнейшими индексами процессов СМК служат показатели, ориентированные на повышение воспринимаемого потребителями качества продукции и услуг. Тем самым обеспечивается системное улучшение лояльности потребительского рынка к конкретному бренду и марки продукции или услуги. Именно данный аспект в настоящее время следует рассматривать как ключевой в деле повышения конкурентоспособности.

Возвращаемся к практике разработки и развития СМК отечественных предприятий автомобилестроения.

Среди достижений системы управления качеством крупнейшего производителя легковых автомобилей РФ необходимо выделить системное развитие инструментов управления качеством на этапах 1995—2008 гг., которое выразилось в активном росте: компетенций сотрудников компании благодаря реализации целого комплекса программ обучения специалистов и рабочих, с привлечением ведущих российских и международных учёных, экспертов, консалтинговых институтов (Центр "Приоритет", Компании "ЮТАК" и "Бостон Консалт", Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва и т. д.), а также созданием собственного ресурса в лице АНО "Институт качества"; процесса разработки, модернизации, актуализации корпоративной СМК, системы анализа качества со стороны руководства компании; информационного обеспечения процессов проектирования, производства,

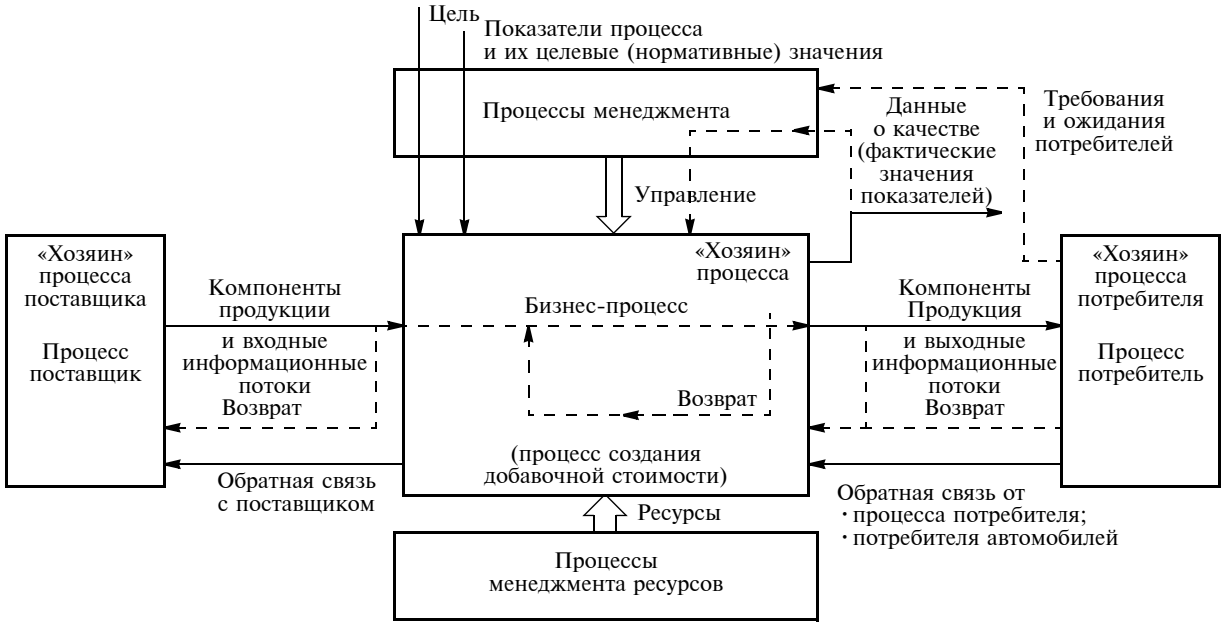

Рис. 1. Структура процессной модели

сервиса, через создание целого ряда корпоративных информационных систем управления; создания мощного аналитического корпоративного подразделения с функциями анализа информации и прогнозирования в области качества, надёжности, удовлетворённости потребителями воспринимаемым качеством продукции и услуг.

Перейдём к рассмотрению СМК крупнейшего автопроизводителя легковых автомобилей в РФ, структура которой представлена на рис. 2. На верхнем уровне ставятся общие цели компании в области качества, и задаются цели для корпоративных процессов СМК и для соответствующих служб и подразделений, а также формируются корпоративные процедуры и требования. Службы и подразделения функционируют на этапах жизненного цикла автомобиля в рамках корпоративных процессов и процедур, обеспечивая выполнение требований и достижение поставленных целей.

Подразделения, поставляющие продукцию сторонним организациям, например, в соответствии с требованиями своих потребителей, могут создавать в рамках СМК внутренние системы менеджмента качества и отдельно их сертифицировать. Управление системами менеджмента качества внешних предприятий — поставщиков автомобильных компонентов, дилеров и предприятий сервисно-сбытовой сети — осуществляется как на верхнем корпоративном уровне СМК, так и в рамках деятельности соответствующих внутренних служб и подразделений. Внешние предприятия проводят сертификацию своих систем менеджмента качества в соответствии с требованиями контракта. Процессы управления качеством функционально определены в блок вице-президента — директора по качеству. То есть блок обладает независимостью от других основных функциональных блоков и соответствующих подразделений.

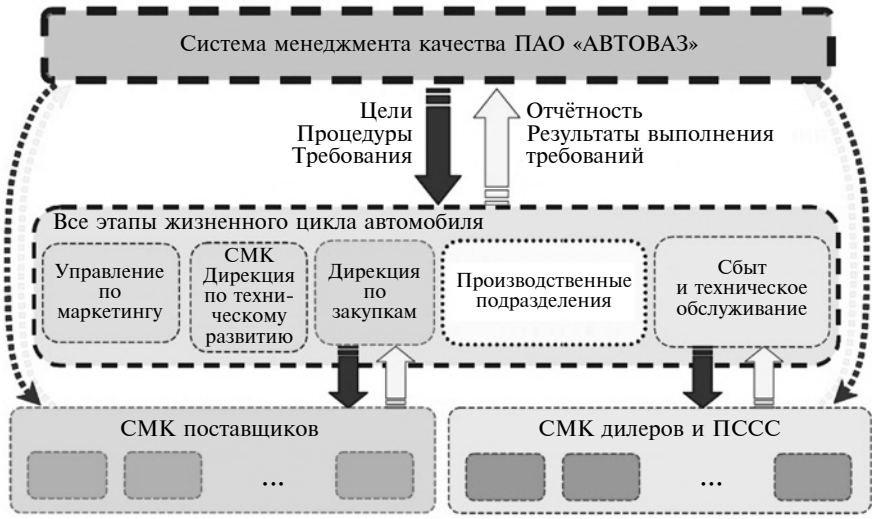

Рис. 2. Схема структуры СМК ПАО

Рассматривая ландшафт процессов СМК, представленный на рис. 3, выделяем процесс Корректирующие и предупреждающие действия (М06), который и определяет деятельность корпоративной службы качества. Процесс организован таким образом, что составляющие его подпроцессы реализуются в рамках всех основных процессов СМК. Таким образом, достигается эффект, связанный с мониторингом основных направлений деятельности компании в рамках аналитических подпроцессов корпоративной службы управления качеством. То есть дирекция по качеству, по сути, присутствует в каждом из процессов СМК как представитель потребителя. На основе измерений ключевых индикаторов процессов

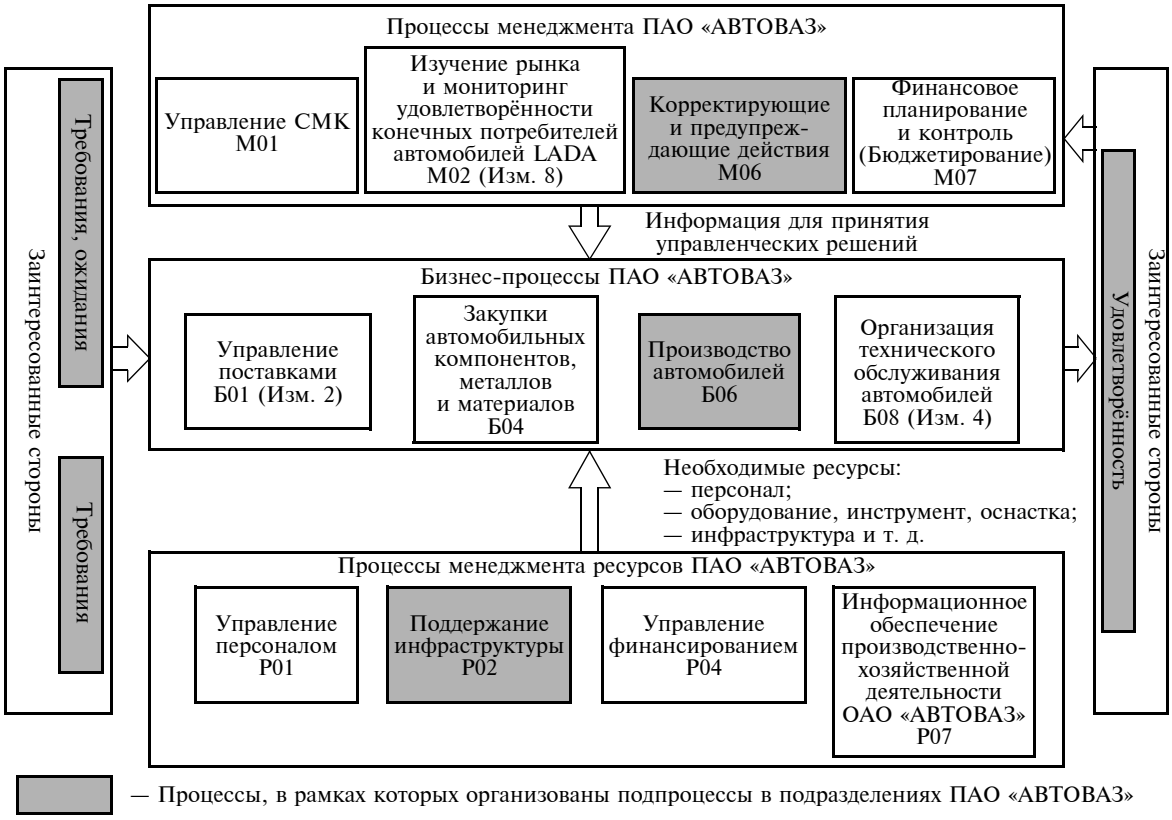

Рис. 3. Ландшафт процессов СМК ПАО

СМК, дирекцией по качеству предлагаются к реализации мероприятия, направленные на корректировку деятельности процессов компании.

Перейдём теперь к анализу особенностей СМК крупнейшего производителя грузовой техники РФ. Рассматриваемое предприятие можно отнести к немногочисленным удачным примерам развития традиционных автомобильных компаний в России, имеющих опыт сотрудничества с крупными зарубежными инвесторами.

Из анализа ландшафта процессов СМК (рис. 4) видно, что процессы, связанные с управлением качеством, к сожалению, напрямую не

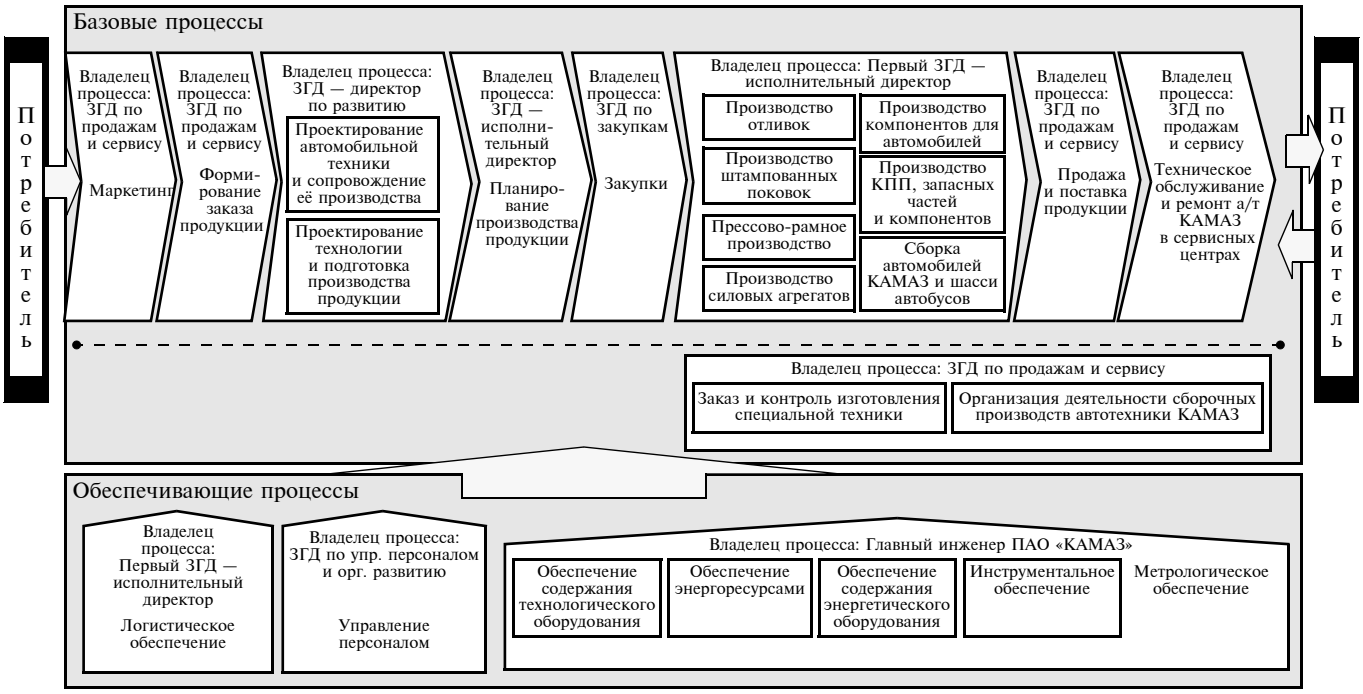

Рис. 4. Ландшафт процессов СМК автопроизводителя

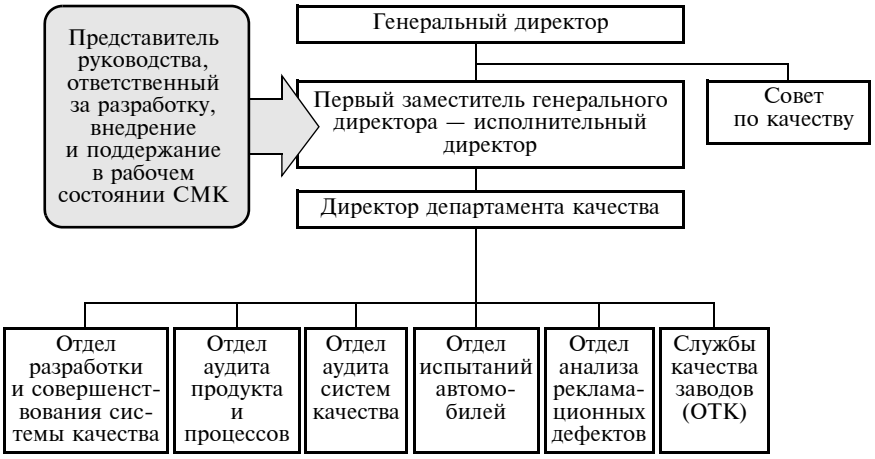

Рис. 5. Организационная структура подразделений автопроизводителя по управлению качеством

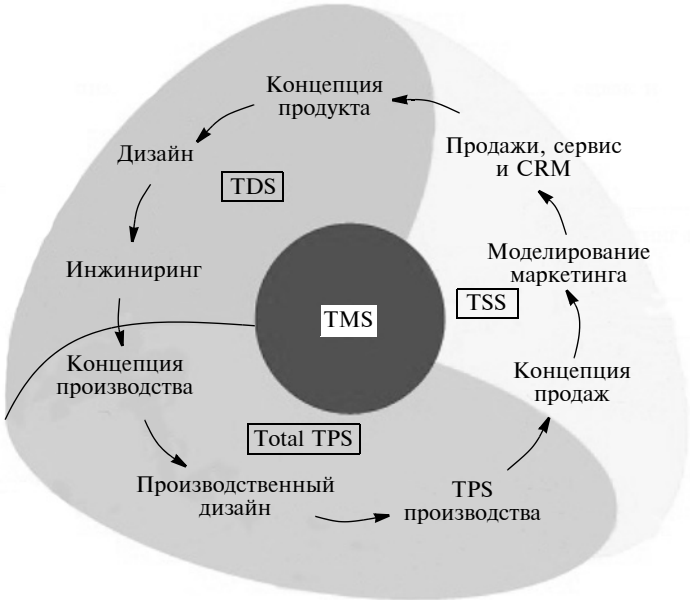

Рис. 6. Система менеджмента японской автомобильной корпорации:
TMS — система менеджмента; Total TPS — производственная система; TDS — система разработки продукции; TSS — система продажи и обслуживания

проявляются. И это связано с тем, что в структуре управления отсутствует блок заместителя генерального директора — директора по качеству. Это является проблемой, поскольку в рамках действующего ландшафта, функции управления качеством обеспечиваются блоком первого заместителя генерального директора — исполнительного директора. И в этот же блок определяются функции управления производственной деятельностью. Понятно, что перспективы развития СМК напрямую зависят от выделения в структуре управления независимых функций управления качеством в рамках отдельной структурной единицы. Аналитическая деятельность (рис. 5) в области мониторинга качества и надёжности продукции определена функциями отдела анализа рекламационных дефектов и отделом испытаний автомобилей.

Проводя сравнительный анализ систем управления качеством крупнейших автопроизводителей России, можно сделать промежуточный вывод. СМК предприятий сопоставимы, в целом имеют похожие структуры, однако ключевым различием рассматриваемых ландшафтов является более сильный акцент структуры производителя легковых автомобилей в области управления качества, проявляемый через организационную независимость службы качества в структуре предприятия. Производитель грузовой автотехники в этом плане имеет недостаток.

Переходим к анализу систем управления качеством лидеров мирового автомобилестроения. На рис. 6 представлена структура системы менеджмента, одного из признанных мировых лидеров в области качества, японской компании. Система графически выстроена в виде петли или цикла взаимосвязей — от процесса создания концептуального продукта до продажи, сервиса и утилизации. Крупнейшая японская автомобилестроительная корпорация, одновременно является крупнейшей автомобилестроительной публичной компанией в мире, а также крупнейшей публичной компанией в Японии. В 1999 г. в компании была проведена масштабная перестройка системы менеджмента. Одним из первых и ключевых мероприятий в ней стал проект "кампания трёх подписей", который обозначил три цели: повышение скорости принятия решений (под разного рода согласованиями подписей руководителей вместо семи или восьми стало три); обучение и воспитание нижестоящих менеджеров, с делегированием им большей ответственности в их областях деятельности; улучшение морального состояния и укрепление "боевого" духа коллектива. Уже через год старая структура с множеством средних уровней управления (руководитель отдела, его заместитель, контролёры, начальники участков, помощники начальников участков и главные администраторы) была преобразована в новую плоскую структуру управления, в которой осталось лишь три уровня — руководитель отдела, руководители офиса и лидеры групп. Лидеры групп стали самым активным звеном в процессе принятия решения.

Следующим важным элементом в системе менеджмента в компании оказались проектные группы, которые работают на основе межфункционального подхода и обладают полномочиями по принятию решений. Состоящие, как правило, из руководителей всех подразделений компании, они рассматривают такие общекорпоративные проблемы, как управление затратами, управление производством и обеспечение качества. Каждый отдел возглавляет

Рис. 7. Процессная модель СМК европейского автопроизводителя

управляющий директор, а каждое функциональное собрание включает всех директоров, в том числе шесть исполнительных директоров. Каждый исполнительный директор отвечает за интеграцию действий различных отделов.

Проводя первичный анализ рассмотренных выше систем управления, можно сформулировать вывод об отличительной особенности СМК отечественных автопроизводителей, с одной стороны, и системы менеджмента японского автопроизводителя — с другой. Таким отличием является всё же более жёсткий функциональный подход, действующий на традиционных российских предприятиях автопрома. В компании японской корпорации, как было показано, функциональные границы между подразделениями более размыты функционалом проектных групп, а также системой делегирования полномочий.

Рассмотрим процессную модель СМК, действующую в корпорации — одной из лидеров европейского автомобильного рынка (рис. 7). Логика построения СМК базируется на трёх уровнях. На первом, корпоративном, уровне рассматриваются процессы: мероприятия по качеству, общие для всей корпорации, руководящие принципы в области качества. На втором уровне, определяющем виды деятельности: основные (разработка продукции, технологическое проектирование, производство, коммерческая деятельность) и вспомогательные (информационные системы, логистика, закупки и т. д.). На третьем уровне, производственной деятельности: производственные единицы (производства, предприятия логистической сети, децентрализованные технические центры), принадлежащие к виду деятельности, находящемся на вышестоящем уровне.

Так же как и в ранее рассмотренных СМК, в модели рассматриваемой компании различают три типа процессов. Производственные процессы — непосредственно обеспечивают выпуск продукции, соответствуют основным видам деятельности (разработка требований/проектирование/изготовление/сбыт). Процессы управления — обеспечивают во взаимосвязи со всеми остальными процессами определение политики, целей и управление глобальным функционированием системы. Процессы поддержки — обеспечивают выполнение производственных процессов и процессов управления, внося в них элементы, необходимые для их надлежащего функционирования.

Анализ моделей СМК российских и иностранных компаний автопроизводителей, так же как и в случае исследования стратегических направлений работы, показывает некоторое различие в подходах построения систем. В случае европейского и японского автопроизводителя не просматривается жёстко устанавливаемых границ процессов. Например, СМК компании европейской компании определяет процессы с точки зрения улучшения удовлетворённости потребителей, определения и развития политики в области качества. Рассматривать данные виды деятельности, скорее всего, необходимо на межпроцессном уровне, поскольку они основаны на системном применении проектного межфункционального подхода. То же самое можно выделить и для системы менеджмента японской автомобильной корпорации. Здесь даже графическая модель имеет размытые границы между процессами, а масштабная перестройка, проведённая в компании, вообще привела к переходу основных видов деятельности на проектную форму работы со значительным делегированием полномочий руководства верхнего уровня на уровни среднего и нижнего звена.

В отличие от приведённых выше выводов СМК российских компаний развиваются не так эффективно, с точки зрения перехода от жёсткой функциональной работы в рамках подразделений к межпроцессной межфункциональной проектной деятельности. Скорее всего, в этом кроется одна из ключевых проблем, выливающаяся в недостаточ-

но высоком уровне конкурентоспособности и качества продукции отечественных предприятий. Как показал Э. Деминг, качество продукции на 90 % определяется соответствующей эффективностью и качеством работы системы и только 10 % связано с человеческим фактором. Переходя от принципов Э. Деминга к практике СМК отечественных предприятий, необходимо сделать вывод о том, что повышение конкурентоспособности и качества продукции и услуг в автомобильной отрасли России, напрямую связано с повышением эффективности СМК предприятий. Во многих случаях СМК, со стороны руководства машиностроительных предприятий России, по-прежнему рассматривается не как эффективный инструмент управления, а как необходимая формальность для прохождения сертификации на соответствие международным стандартам в области качества. Именно этот вывод следует признать как наиболее важный, поскольку отсутствие внимания со стороны высшего менеджмента организаций как раз и ведёт к некоторой деградации СМК. А здесь требуется развитие, как минимум адекватное развитию основных конкурентов.

Итак, выделенные аспекты соответствующих СМК ведущих автопроизводителей показывают, что наиболее перспективными направлениями для предприятий отечественного автомобилестроения являются: развитие методологии измерения качества и надёжности автомобилей в эксплуатации исходя из необходимости повышения качества данных, сокращения сроков получения информации из внешней среды; сокращение времени реакции на запросы потребителей; усиление роли подразделений корпоративной службы качества, занимающихся измерением, анализом и интерпретацией данных о качестве и надёжности продукции в эксплуатации, разработка и реализация проектной межфункциональной деятельности для повышения эффективности качества продукции и услуг; широкое и системное внедрение межфункционального проектного подхода в рамках СМК.

Таким образом, развитие практики управления конкурентоспособностью на предприятиях отечественного автомобилестроения должно строиться исходя из имеющегося положительного опыта и сложившихся традиций, с учётом основных достижений передовой практики управления, и, в том числе, на уровне совершенствования структур, занятых аналитической деятельностью в области качества продукции и услуг.

АСМ-факты

Завершён первый этап демонстрационного проката электрического автобуса "Тролза" в регионах России. В рамках кампании по продвижению новой модели машину показали в Ростове-на-Дону, Стерлитамаке, Ижевске, Омске. В каждом городе машина отработала 7—10 дней на линиях общественного транспорта, перевозя пассажиров как в режиме электрического автобуса, так и в троллейбусном. Состоялись также презентации нового транспортного средства для представителей местных администраций, СМИ и специалистов электротранспорта. В целом по итогам демонстрационных прокатов электрический автобус "Тролза" получил отличные оценки как специалистов, так и пассажиров.

Напомним, что его разработка велась на протяжении двух лет. В итоге была создана машина нового поколения, которая первая и единственная в России из аналогов прошла испытания по курсовой устойчивости. Батареи обеспечивают пробег 50 км в городском режиме и могут заряжаться в ночном, супербыстром и динамическом режимах (в зависимости от модификации). Применена новейшая система управления (на базе CAN-шины). Внедрена система безопасности EBS-3, улучшен доступ к ключевым системам и агрегатам. Электроавтобус, разумеется, получил качественно новый экстерьер и интерьер, оснащён панорамным фронтальным остеклением с полным обогревом и светодиодной светотехникой.

●

В индустриальном парке "Есипово" в Московской области открыт завод "Мерседес-Бенц" с полным технологическим циклом (сваркой и окраской) производства легковых автомобилей. Проект реализован в рамках специального инвестконтракта, который в обмен на инвестиции гарантирует неухудшение налоговых условий и предоставляет доступ к мерам господдержки. В числе партнёров по инвестконтракту — ПАО "КамАЗ", имеющий совместное с компанией "Даймлер" производство тяжёлых грузовиков "Даймлер Крайслер РУС". Именно это СП выступает заказчиком выпуска легковых "Мерседесов" на мощностях завода в Подмосковье. Инвестиции в новое предприятие составили 19 млрд руб. Мощность завода — невелика, 25 тыс. машин в год, однако в перспективе на существующей площадке производство может быть увеличено до 35 тыс. в год.

В церемонии открытия завода приняли участие Президент России, министр экономики и энергетики Германии, а также председатель правления компании "Даймлер".

●

Очередной модернизации подвергся УАЗ семейства "Хантер".

С февраля 2019 года действует новое Одобрение типа транспортного средства. Изменился тип транспортного средства: автомобиль сертифицирован по категории ТС повышенной проходимости N_1G с заявленной технически допустимой максимальной массой 2495 кг. (Управлять внедорожником по-прежнему можно с водительским удостоверением категории В.) Теперь автомобиль по умолчанию оснащается устройством вызова экстренных

оперативных служб ЭРА-ГЛОНАСС и антиблокировочной системой тормозов. Более того, теперь во всех модификациях комплектуется надёжными и простыми в обслуживании мостами типа "Спайсер" и надёжной корейской трансмиссией "Димос" (как и автомобили семейства "Патриот/Пикап"). Двигатель — остался прежним: 2,7 л, 99 кВт (135 л. с.), 217 Н · м.

•

На международной выставке "Лом чёрных и цветных металлов" в Москве совместное предприятие "Кран-центр КамАЗ" представило улучшенную модификацию бестселлера продаж — ломовоз КамАЗ-65115 с ГМУ "Палфингер VML74M" и кузовом объёмом 30 м^3. Машина была доработана по заказу клиента: установлены неповоротные опоры гидроманипуляторной установки, а также защита узлов и агрегатов шасси от падения лома. Ломовоз вызвал большой интерес посетителей выставки. После мероприятия автомобиль остался в столице и был передан покупателю.

Автомобили-ломовозы пользуются сегодня повышенным спросом на отечественном рынке спецтехники, который ежегодно растёт. Так, реализация ломовозов в 2018 году составила 556 единиц (рост по сравнению с 2017 годом — 49 %). При этом доля ломовозов на шасси КамАЗ в 2018 году составила 398 единиц, это 72 % рынка.

•

СП МАЗ-МАН освоило производство лесовозных надстроек для своих шасси.

Новый автопоезд-сортиментовоз включает автомобиль-тягач МАЗ-МАН 636559 с надстройкой и краном-манипулятором в сцепке с трёхосным прицепом МАЗ-МАН 890001. Полная масса автопоезда — до 76 т (при установке ведущих мостов МАН — 77 т). Автомобиль с колёсной формулой 6×6 отличается от прежних лесовозов с "чужими" надстройками двигателем МАН D2066LF44 (324 кВт, или 440 л.с.), агрегатированным с коробкой передач ZF 16S2220TO. Раздаточная коробка — ZF VG2000/396; коробка отбора мощности — также ZF. Дорожный просвет при максимальной нагрузке под картерами ведущих мостов — 360 мм. Для сортиментовозной надстройки применены технические решения, обеспечивающие высокую прочность и устойчивость к внешним воздействиям. Надрамник — цельноформованный, без надрезов в местах изгиба. Выполнен из П-образного профиля, изготовленного из высокопрочной стали "Стренкс 650". Он защищён от коррозии горячим цинкованием, как и другие элементы надстройки, в том числе поперечные опоры и выдвижная консоль крана-манипулятора. Ложементы ("коники") для загрузки лесоматериалов изготовлены из высокопрочной стали "Стренкс 700".

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.33

К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **МАМБЕТАЛИН К.Т.**
Южно-Уральский ГУ (kahim2010@mail.ru)

Рассматривается метод оценки энергетической эффективности автомобиля.

Ключевые слова: *энергетические затраты, энергетический эквивалент, энергетическое содержание топлива.*

Mambetalyn K.T.

ON THE ENERGY EFFICIENCY OF THE VEHICLE

The method of evaluating the efficiency of the vehicle.

Keywords: *energy costs, the energy equivalent of the energy content of the fuel.*

Споры о том, как оценивать топливно-энергетическую эффективность автомобилей, идут десятки лет, но единого мнения по этому вопросу до сих пор не сложилось. Об этом говорят, например, результаты анализа В.И. Копотиловым [1] выдвинутых рядом исследователей показателей, характеризующих данное ключевое свойство современных АТС. Таких показателей очень много, что, впрочем, вполне объяснимо, ведь автомобили отличаются большим разнообразием по конструкции, конструктивным и техническим параметрам, назначению и области применения, режимам эксплуатации и т.д. В этих условиях найти "общий знаменатель", по которому оценивалась бы эффективность автомобиля, весьма затруднительно.

По нашему мнению, таким общим знаменателем должен быть энергоноситель, т. е. топливо. Точнее — его энергетический эквивалент и энергетическое содержание. Подобно тому, как любой продукт деятельности человека оценивается затратами его труда, т. е. по энергетическому эквиваленту. Тем более, что каких-либо сложностей здесь нет: энергетические эквиваленты топлив известны: 10 МДж/кг — для дизельного и 10,5 МДж/кг — для автомобильного бензина [2].

При сгорании дизельного топлива выделяется тепловая энергия, равная 42,7 МДж/кг, а автомобильного бензина — 43,9 МДж/кг. В дальнейшем эта тепловая энергия (энергетическое содержание топлива) преобразуется в механическую, которая и расходуется на совершение транспортной работы. Затраченная механическая энергия — есть производная энергетического содержания топлива, она определяет его расход, пока-

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$П_{эн.эф} = E_{тп}/Эн.сод$	$E_{тп}$ — энергетические затраты, МДж/т; Эн. сод. — энергетическое содержание топлива, МДж/кг
2	$E_{тп} = E_{пер} + E_{гр} + E_{в}$	$E_{пер}$ — энергозатраты на перекатывание автомобиля, МДж; $E_{гр}$ — энергозатраты на перевозку груза, МДж; $E_{в}$ — энергозатраты живого труда, водителя по управлению автомобилем, МДж
3	$E_{пер.гр} = \frac{f_п(m_{сн} + m_{гр})gL}{\eta_э \eta_{тр}(1 - \eta_б)} = \frac{f_п M_а gL}{\eta_э \eta_{тр}(1 - \eta_б)}$	$f_п$ — коэффициент сопротивления перекатыванию автомобиля; $m_{сн}$ — снаряжённая масса автомобиля, кг; $m_{гр}$ — масса перевозимого груза, кг; $M_а$ — полная масса автомобиля; L — расстояние перевозки, м; $\eta_э$ — эффективный КПД двигателя; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии автомобиля; $\eta_б$ — коэффициент буксования
4	$E_{в} = a_{в} n M_а L \eta_{см}$	$a_{в}$ — энергетический эквивалент живого труда по управлению автомобилем на перевозке груза, МДж/ч ткм; n — число водителей; $\eta_с$ — коэффициент использования рабочего времени смены
5	$E_{тп} = E_{пер.гр} + E_{в} = \frac{f_п M_а gL}{\eta_э \eta_{тр}(1 - \eta_б)} + a_{в} n M_а L \eta_{см}$	—
6	$E_{удтп} = \frac{E_{тп}}{m_{гр} l}$	—
7	$П_{эн.эф} = \frac{E_{удтп}}{Эн.сод}$	—

зывая тем самым энергетическую эффективность автомобиля.

В качестве показателя энергетической эффективности автомобиля при его эксплуатации можно использовать отношение энергетических затрат на транспортный процесс к энергетическому содержанию топлива (формула 1 в табл. 1).

Таблица 2

Автомобиль	Полная масса $M_а$, кг	Грузоподъёмность $m_{гр}$, кг	Энергоэффективность q', кг/ткм
УАЗ-451	2660	1000	0,139
ГАЗ-53А	7400	3250	0,135
ЗИЛ-130	10 525	4300	0,147
ЗИЛ-133ГЯ	17 835	7600	0,141
"Урал-377Н"	14 950	7200	0,12
ГАЗ-САЗ-35071	8090	4220	0,116
ЗИЛ-433110	12 000	7020	0,103
КамАЗ-5320	15 305	7000	0,12
КрАЗ-57Б	22 500	10 300	0,12
МАЗ-5335	14 950	6700	0,12
КамАЗ-6520	27 500	14 400	0,11
КамАЗ-55111	22 400	13 000	0,09
"Урал-5557"	20 205	10 000	0,11
МАЗ-5516	32 000	20 000	0,08
"Магирус"	19 000	13 000	0,08
"Татра 148S1M"	26 000	13 000	0,08
"Шкода 706RTT"	14 200	8160	0,09
"Мерседес-Бенц 2232S"	22 000	13 100	0,09
"Вольво F89-32"	26 000	17 800	0,08
ИВЕКО 290D26K	40 000	31 400	0,07

Транспортный процесс автомобиля складывается из элементов: самопередвижение (перекатывание) автомобиля, перевозка груза или пассажиров и работа водителя. Все эти составляющие выполняются определёнными энергетическими затратами (формула 2). Перекатывание автомобиля происходит одновременно с перевозкой груза, поэтому первые два члена уравнения можно объединить, тогда справедлива формула 3, где $f_п$ — коэффициент сопротивления перекатыванию автомобиля; $m_{сн}$ — снаряжённая масса автомобиля, кг; $m_{гр}$ — масса перевозимого груза, кг; $M_а$ — полная масса автомобиля; L — расстояние перевозки, м; $\eta_э$ — эффективный КПД двигателя; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии автомобиля; $\eta_б$ — коэффициент буксования.

Затраты энергии живого труда водителя на управление автомобилем можно описать формулой 4. Энергозатраты на транспортный процесс — формулой 5, удельные энергозатраты на транспортный процесс (МДж/ткм) — формулой 6. Тогда энергетическая эффективность автомобиля при эксплуатации (кг/ткм) определяется формулой 7.

Результаты расчётов по приведённым формулам (и данным справочника [3]) представлены в табл. 2. В расчётах принимались: $f_п = 0{,}03$; карбюраторный двигатель $\eta_э = 0{,}25$; дизельный двигатель $\eta_э = 0{,}3$; грузовой автомобиль $\eta_{тр} = 0{,}85...0{,}9$; $\eta_б = 0{,}04...0{,}06$; $L = 1000$ м; $l = 1$ км.

По данным таблицы, видна предпочтительность автомобиля более современной модели ГАЗ-САЗ-35071 по сравнению с ветераном ГАЗ-53А. Такой же вывод и по автомобилю ЗИЛ-433110 в сравнении с ЗИЛ-130 и ЗИЛ-133ГЯ. Среди автомобилей с бензиновыми дви-

гателями в целом преимущество имеют ЗИЛы. В группе дизельных предпочтительными выглядят автомобили зарубежного производства.

Анализ данных таблицы показывает, что показатель энергетической эффективности коррелируется обратным образом с коэффициентом снаряжённой массы автомобиля. Чем меньше этот коэффициент, тем выше энергетическая эффективность автомобиля. Так, ИВЕКО 290D26K: имеет коэффициент снаряжённой массы — 0,27 и $q' = 0{,}07$; а КамАЗ-5320 соответственно 0,97 и 0,12.

Таким образом, энергетический критерий транспортного процесса действительно позволяет оценить и сравнить эффективность различных автомобилей.

Литература

1. Копотилов В.И. О комплексных показателях топливно-энергетической эффективности автомобиля // Автомобильная промышленность. 2012. № 5. С. 15—17; № 6. С. 7—9; № 7. С. 14—16.
2. Справочник экономиста-аграрника / Василькова Т.М. и др. М.: КолосС, 2010.
3. Беляев В.П. Основные характеристики современных автомобилей и тракторов: Справочное пособие. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003.

УДК 621.432

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УРАВНОВЕШЕННОСТИ И ОБУСЛОВЛЕННОЙ ЕЮ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Д-р техн. наук **ЯМАНИН А.И.**
Ярославский ГТУ (4852.44-68-33)

Обоснована целесообразность применения численных методов анализа уравновешенности и низкочастотной вибрации двигателей и соответствующих программных продуктов. Предложено уточнение расчёта критерия неуравновешенности, в качестве которого предлагается использовать относительную величину среднеквадратичного значения виброперемещений двигателя на упругих опорах с учётом возмущений, вызываемых силами инерции не только кривошипно-шатунного механизма, но и навесных агрегатов.

Ключевые слова: *критерий неуравновешенности, 3D-модель, среднее квадратическое значение виброперемещений, эффективность балансирных механизмов, силы инерции навесных агрегатов.*

Yamanin A.I.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE BALANCING AND THE RESULTING LOW-FREQUENCY VIBRATION MOTORS

The expediency of application of numerical methods of the analysis of a balance and low-frequency vibration of engines and the corresponding software is proved. As a refined value of the unbalance criterion, it is proposed to use the relative value of the relative mean square value of the vibration displacement of the engine on the elastic supports. It is necessary to take into account the perturbations from the inertia of the crank mechanism and attachments.

Keywords: *criteria of balancing, 3d-model, mean square value of vibration displacements, the efficiency of balancing mechanisms, the forces of inertia mounted units.*

Анализ уравновешенности — одна из важнейших составляющих динамического расчёта двигателя и выполняется уже на ранних стадиях его проектирования. Известны алгоритмы такого анализа, которые являются приближёнными и, как правило, не учитывают наличия гармонических составляющих сил инерции и их моментов высоких порядков. Кроме того, при упомянутых расчётах используются статические двухмассовые модели кривошипно-шатунных механизмов. Всё это может способствовать возникновению погрешностей при расчётах уравновешенности и виброактивности.

Развитие программного обеспечения для исследования механических и мехатронных систем позволяет решать многие задачи, в том числе, и анализа уравновешенности. Точность таких расчётов в целом существенно выше, чем расчётов аналитических, приближённых [1]. Это объясняется тем, что в упомянутом ПО расчёт ведётся на основе автоматического формирования и последующего численного решения дифференциальных уравнений движения механизма, причём с учётом всех (большинства) гармонических составляющих исследуемых кинематических и динамических параметров.

Критерии неуравновешенности предназначены для сравнительного анализа уравновешенности двигателей, а также оценки эффективности мероприятий по её обеспечению. Наиболее распространены критерии Б.С. Стечкина—В.Я. Климова и А.М. Каца.

В первом случае таким критерием является амплитуда A_k виброперемещений двигателя как твёрдого тела, установленного на податливых опорах, под действием неуравновешенной силы инерции k-го порядка (её максимальное значение равно $P_{ij}^{\max}$) или их моментов (формула 1 в табл. 1). Аналогичная по структуре формула применяется и для расчёта амплитуды виброперемещений двигателя под действием неуравновешенного момента силы инерции k-го порядка. Двигатель считается хорошо уравновешенным, при этом $A_k \leq 0{,}01$ мм, и плохо уравновешенным, если $A_k > 1$ мм. Понятно, что на практике это значение для двигателей, различных по частоте вращения, размерам, массе и пр., может считаться как удовлетворительным, так и неудовлетворительным. К тому же амплитуда A_k определяется при учёте в каждом случае только одного неуравновешенного фактора, тогда как двигатель может быть не уравновешен одновременно по нескольким таким факторам. Суммирование амплитуд, обусловленных совместным действием нескольких факторов, не вполне корректно, так как последние могут действовать в различных фазах. Кроме того, при таком расчёте мы вынуждены считать, что центр упругого крепления (точки приложения равнодействующей реакций всех опор с учётом их величин и координат точек приложения) совпадает с точкой приложения суммарной неуравновешенной силы инерции. Как правило, такие совпадения отсутствуют, а потому двигатель на упругих опорах неизбежно

должен совершать связанные колебания, достаточно сложный расчёт которых рассмотрен в [2].

Критерий неуравновешенности, предложенный А.М. Кацем (формулы 2), учитывает одновременное наличие у двигателя неуравновешенных сил инерции ПДМ обоих порядков и их моментов, а также центробежных сил инерции НВМ и их моментов. При этом предполагается, что амплитудное значение силы инерции ПДМ второго порядка составляет 0,25 от значения силы инерции ПДМ первого порядка; то же касается моментов этих сил. Двигатель считается уравновешенным, если вычисляемые безразмерные коэффициенты (оба) не превышают 0,001. Физический смысл критерия Каца заключается в том, что коэффициенты ξ и η суть некие безразмерные силы. Однако объяснение тому, что силы инерции соотносятся с величиной произведения массы двигателя, диаметра цилиндра и квадрата угловой скорости коленчатого вала, также, по-видимому, отсутствует, т.е. явно выраженного физического смысла критерий не имеет. Безразмерность коэффициентов позволяет более корректно пользоваться ими для двигателей разной размерности, уровней форсирования по частоте вращения и пр.

Оба рассмотренных критерия не учитывают направления действия неуравновешенных сил инерции и их моментов, что может вносить погрешность в оценку уравновешенности многорядных двигателей, особенно, с прицепными шатунами, а также двигателей с отличными от КШМ преобразующими механизмами. Критерий Б.С. Стечкина—В.Я. Климова не вполне удобен также при анализе двигателей с неуравновешенными моментами сил инерции. При этом определяется амплитуда виброперемещений точки корпуса, ближней к носку коленчатого вала, а потому в расчёт неизбежно должен входить абсолютный габаритный размер двигателя. При этом момент инерции двигателя часто определяют как момент инерции сплошного параллелепипеда с известными длиной L, шириной B и высотой H, тогда как реальные значения момента инерции двигателя отличаются от таким образом вычисленной величины. Оба рассмотренных критерия не учитывают также наличия возмущающих сил инерции, развиваемых неуравновешенными подвижными звеньями навесных агрегатов, например, поршневых воздушных компрессоров. В [3] указано, что оба критерия не учитывают скоростной режим работы двигателя и наличие той или иной подмоторной конструкции, а потому дают удовлетворительные результаты только при анализе уравновешенности высокооборотных автомобильных и авиационных двигателей, установленных на упругие опоры.

Для определения истинного значения масс и моментов инерции, положения центра масс двигателя представляется весьма эффективным использование программного обеспечения для твёрдотельного моделирования и последующего анализа динамики. В среде такого ПО должна быть создана пространственная 3D-модель исследуемого двигателя (по возможности с достаточной степенью проработки). В состав такой модели должны включаться все наиболее значимые элементы конструкции — корпусные детали, КШМ, трубопроводы, массивные навесные агрегаты, в том числе с возможностью последующей симуляции их работы. Например, на рис. 1 показана модель двигателя 4ЧН 10,5/12,7 с приводимым от коленчатого вала поршневым воздушным компрессором. Значения его массы и моментов инерции, вычисленные по твёрдотельной модели и при её представлении прямоугольными

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$A_k = \dfrac{P_{jk}^{\max}}{M_{\text{дв}}\omega^2 k^2}$	$M_{\text{дв}}$ — масса двигателя; ω — угловая скорость коленчатого вала
2	$\xi = \dfrac{1}{M_{\text{дв}}\omega^2 D}\left[P_{j1}^{\max} + 0{,}25 P_{j2}^{\max} + \dfrac{6L_{\text{дв}}}{L_{\text{дв}}^2 + H_{\text{дв}}^2}(M_{j1}^{\max} + 0{,}25 M_{j2}^{\max})\right]$; $\eta = \dfrac{1}{M_{\text{дв}}\omega^2 D}\left[P_{jC}^{\max} + \dfrac{6L_{\text{дв}}}{L_{\text{дв}}^2 + H_{\text{дв}}^2} M_{jC}^{\max}\right]$	D — диаметр цилиндра; $P_{j1}^{\max}$, $P_{j2}^{\max}$ — амплитудные значения суммарных неуравновешенных сил инерции поступательно движущихся масс (ПДМ) первого и второго порядков; $P_{jC}^{\max}$ — то же для центробежных сил инерции неуравновешенных вращающихся масс (НВМ); $M_{j1}^{\max}$, $M_{j2}^{\max}$, $M_{jC}^{\max}$ — амплитудные значения суммарных моментов сил инерции ПДМ обоих порядков и НВМ; $L_{\text{дв}}$, $H_{\text{дв}}$ — длина и высота двигателя
3	$СКЗ = \sqrt{\dfrac{1}{T}\int_0^T x^2(t)\,dt}$	При сплошном непрерывном спектре
4	$СКЗ = \sqrt{0{,}5\sum A_k^2}$	При дискретном спектре
5	$K_y = \dfrac{1}{R}\sqrt{0{,}5\sum A_k^2}$	—
6	$V_m = \dfrac{M_{jkx} L_{\text{дв}}}{2gI_{xx}} \cdot 10^{-6}$	I_{xx} — момент инерции двигателя; $L_{\text{дв}}$ — длина двигателя

параллелепипедами (степень заполнения материалом последних принята равной 0,3), приведены в табл. 2. Размеры параллелепипеда 1 приняты равными максимальным габаритным размерам двигателя; параллелепипеда 2 — размерам блока цилиндров (без учёта картера маховика и воздушного компрессора). Помимо геометрии сравниваемых объектов различие в значениях моментов инерции объясняется и различием в положении центра масс, положение которого в трёхмерной модели двигателя показано на рис. 2.

В среде используемого программного продукта модель виртуально "устанавливается" на податливые опоры (их число и расположение при этом соответствуют таковым для реальной конструкции) с известными значениями жёсткости. Современные программные средства позволяют моделировать различные типы упругих опор. Так, среда динамического моделирования программного продукта *"Autodesk Inventor Professional"* допускает упомянутую "установку" исследуемого двигателя на пружины, амортизаторы различных видов, демпферные опоры (в описываемой модели использована опора типа "пружинный амортизатор", характеристиками которой являются жёсткость, коэффициент демпфирования, длина в свободном состоянии, диаметр витков и число витков и пр.). После этого выполняется так называемая симуляция движения модели, в ходе которой определяются виброперемещения, виброскорости и виброускорения различных точек модели. Как правило, таковыми являются точки присоединения двигателя к упругим опорам. Пример такой виброграммы для трёх вариантов комплектации двигателя (см. ниже) показан на рис. 3.

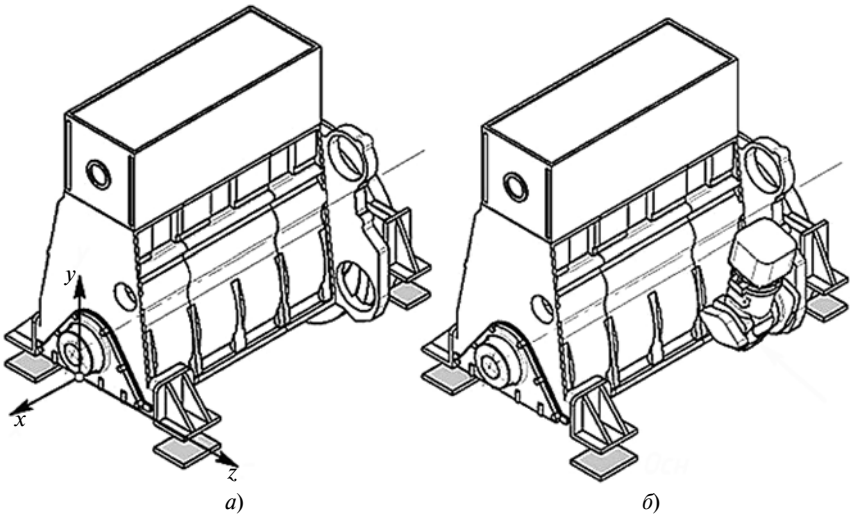

Рис. 1. Твёрдотельные модели двигателя на неподвижных основаниях без навесных агрегатов (а) и с учётом наличия воздушного компрессора (б)

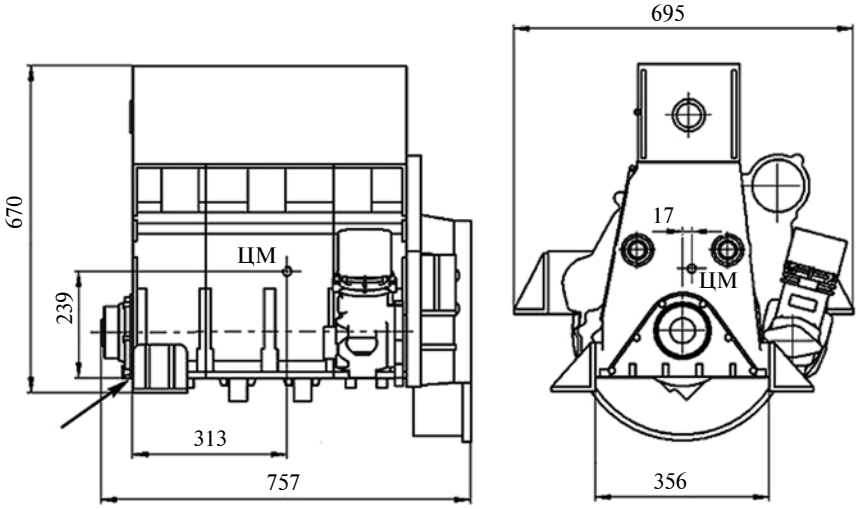

Рис. 2. К расчёту инерционных характеристик двигателя (начало координат указано стрелкой)

При такой симуляции движения возмущающими являются все одновременно действующие неуравновешенные силы инерции и их моменты, а не только их составляющие первого и второго порядков; учитываются возможное различие фаз их движения, а также возмущающие силы инерции, развиваемые подвижными звеньями навесных агрегатов. Эти силы, возможно, нельзя игнорировать. Так, ПДМ воздушного компрессора (массы поршня, шатуна и поршневого пальца компрессора соответственно равны 0,313 кг; 0,22 кг; 0,066 кг; радиус кривошипа, длина шатуна и расстояние от центра масс последнего до кривошипной головки 0,025; 0,09 и 0,035 м) при частоте вращения своего вала 3300 мин$^{-1}$ развивает силу инерции, максимальная величина которой, равная 2 кН; при этом максимальная величина силы инерции ПДМ двигателя равна 16,5 кН.

Таблица 2

Модель	$M_{дв}$, кг	I_{xx}, кг · м^2	I_{yy}, кг · м^2	I_{zz}, кг · м^2
Параллелепипед 1	668	111,41	141,14	225,50
Параллелепипед 2	482	75,78	97,24	112,03
3D-модель	387	38,43	57,85	89,51

С учётом этих обстоятельств представляется обоснованным использование при определении критерия неуравновешенности величину среднего квадратического значения (СКЗ) виброперемещений опор двигателя. Ранее было показано [3], что СКЗ учитывает временно́е развитие виброперемещений и весь спектр возмущающих последние сил инерции и их моментов и, таким образом, характеризует виброактивность двигателя (как следствие, неуравновешенности) во всём частотном диапазоне с энергетической точки зрения.

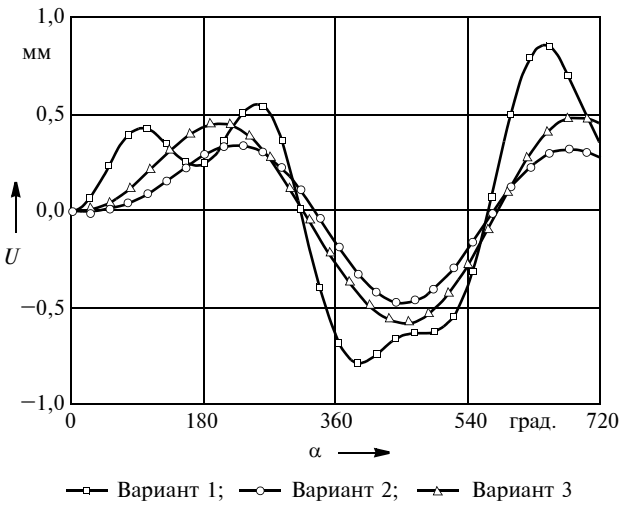

Рис. 3. Расчётная виброграмма вертикальной составляющей перемещения передней правой опоры двигателя

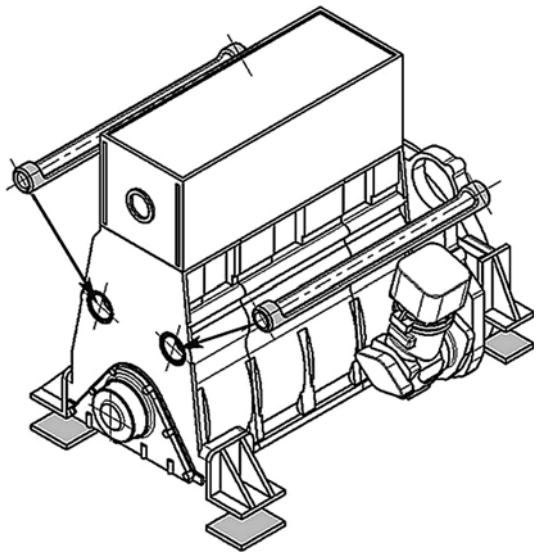

Рис. 4. Трёхмерная модель двигателя с уравновешивающим механизмом Ланчестера (балансирные валики вынесены, их зубчатый привод не показан)

Для определения СКЗ полученная виброграмма подвергается спектральному анализу (здесь весьма удобно использование специализированного ПО компьютерной алгебры). Сама величина СКЗ вычисляется при сплошном непрерывном спектре по формуле 3 (см. табл. 1), а при дискретном спектре — по формуле 4, в которых T — период виброперемещений, а $x(t)$ — их текущее значение. Найденную величину СКЗ соотнесём с каким-либо характерным размером двигателя (например, радиусом кривошипа R). Таким образом, расчётное выражение уточнённого критерия K_y неуравновешенности двигателя принимает вид формулы 5.

Расчёты показывают, что применение предлагаемого способа определения критерия неуравновешенности позволяет даже изменить оценку последней для того или иного двигателя. Так, для показанного на рис. 1 двигателя (масса ПДМ равна 2,89 кг; n = 2500 мин$^{-1}$; λ = 0,3) максимальная величина суммарной силы инерции ПДМ второго порядка составляет 15 760 Н. Тогда величина A_k критерия Стечкина—Климова равна 0,149 мм, в связи с чем двигатель следует считать плохо уравновешенным, наличие возмущающих сил инерции приводимых от коленчатого вала навесных агрегатов здесь не учитывается. Величина СКЗ виброперемещений с учётом всех возмущающих сил (в том числе, развиваемых навесными агрегатами) составляет только 0,08 мм, т. е. двигатель в таком случае следует считать среднеуравновешенным.

Применение программного обеспечения при исследовании динамики двигателей весьма эффективно для оценки степени полезности мероприятий, направленных на повышение уравновешенности, а также целесообразности применения соответствующих балансирных механизмов. Так, для четырёхцилиндрового рядного четырёхтактного двигателя с плоским коленчатым валом известен механизм Ланчестера, позволяющий уравновесить суммарную силу инерции ПДМ второго порядка. Исследуемая модель была дополнена таким механизмом (рис. 4), включающим два балансирных валика с противовесами, установленных в одной плоскости и вращающихся в противоположных направлениях с удвоенной по отношению к коленчатому валу угловой скоростью.

Численный эксперимент по оценке эффективности описанного механизма (результаты моделирования — см. на рис. 2) предусматривал следующие варианты симуляции движения модели: вращение коленчатого вала неуравновешенного двигателя без навесных агрегатов; вращение коленчатого вала уравновешенного двигателя без навесных агрегатов; вращение коленчатого вала уравновешенного двигателя с работающим воздушным компрессором.

Симуляция движения двигателя с механизмом Ланчестера показала, что он действительно эффективен, если принимать во внимание только силы инерции, возбуждаемые движением звеньев КШМ. При наличии дополнительных возбудителей, например, упомянутого воздушного компрессора, виброперемещения двигателя на опорах полностью не устраняются (табл. 3), установка неработающего компрессора незначительно увеличивает значения K_y, соответствующие вариантам 2 и 3. В спектральном составе виброперемещений двигателя с учётом воздушного компрессора заметны составляющие третьего и четвёртого порядков, обусловленные движением подвижных звеньев компрессора, фазы которых, очевидно, не совпадают с таковыми для сил инерции ПДМ второго порядка, развиваемых

Таблица 3

Программный продукт	Критерий K_y четырёхцилиндрового рядного двигателя с механизмом Ланчестера и воздушным компрессором		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
"Autodesk Inventor Pro"	1,0	0,273	0,361
"Solid Works"	1,0	0,284	0,374
"Ansys WBU"	1,0	0,282	0,370

ПДМ двигателя. Как видно из таблицы, результаты вычисления критерия $K_у$ двигателя с использованием аналогичных программных продуктов практически совпадают, что удовлетворительно согласуется с выводами ранее выполненного исследования [5].

Известны и другие критерии неуравновешенности двигателей, применение которых их авторами рекомендуется не для всех типов двигателей. Так, в [6] говорится о необходимости учёта подмоторных конструкций и скоростного режима работы двигателя для судовых малооборотных дизелей. Там же предложено согласовывать критерии уравновешенности с нормами виброактивности двигателей, установленными Российским Морским Регистром судоходства. Предложено использовать в качестве критерия неуравновешенности значения относительного виброускорения V_m двигателя (формула 6 в табл. 1) под действием неуравновешенного момента M_{jkx} сил инерции j-го порядка относительно каждой оси (в данном случае — относительно оси Ox). Здесь: I_{xx} — момент инерции двигателя относительно этой оси; $L_{дв}$ — длина двигателя, уподобляемого прямоугольному параллелепипеду шириной $B_{дв}$ и высотой $H_{дв}$. В соответствии с правилами Российского Морского Регистра судоходства допустимая величина V_m для малооборотных дизелей с разными частотами вращения вала и размерами цилиндра равна 0,013...0,033.

Для среднеоборотных дизелей своеобразный критерий предложен Е.Б. Зигельманом, установившим, что критерий А.М. Каца применительно к дизелям Коломенского тепловозостроительного завода даёт заниженную оценку. Им был предложено усовершенствование критерия за счёт учёта виброперемещений двигателя в двух направлениях под действием сил инерции ПДМ и их моментов. В ряде работ в качестве критериев неуравновешенности предлагалось использовать колебательную мощность, передаваемую в опоры; долю (в процентном отношении) сил (моментов) инерции, оставшихся неуравновешенными и т.п. Как видим, проблема разработки критерия неуравновешенности, корректно учитывающего возмущения, обусловленные всеми источниками, в настоящий момент ещё остается актуальной.

Таким образом, следует рекомендовать применение для анализа уравновешенности двигателя программных продуктов для исследования динамики механических систем. Помимо обоснования уточнения существующего критерия Б.С. Стечкина—В.Я. Климова это позволяет: выполнять расчёты уравновешенности двигателей с учётом всех возмущающих низкочастотную вибрацию сил инерции и их моментов, развиваемых звеньями КШМ и наиболее значимых навесных агрегатов, приводимых от коленчатого вала; оценивать эффективность различных конструктивных мероприятий, направленных на повышение уравновешенности двигателей (в том числе, с нетрадиционными конструктивными схемами), а также соответствующих балансирных механизмов.

Литература

1. Горобцов, А.С. Расчётные задачи динамики систем твёрдых и упругих тел в программном комплексе ФРУНД / А.С. Горобцов, С.В. Солоденков // Машиностроение и инженерное образование. — 2008. — № 4. — С. 31—38.
2. Найденко, О.К. Динамика корабельных энергетических установок с двигателями внутреннего сгорания / О.К. Найденко. — Л.: Изд-во Воен.-морск. акад., 1974. — 518 с.
3. Нечаев В.К. О критериях неуравновешенности поршневых ДВС / В.К. Нечаев // Изв. Томского политехн. ин-та. — 1961. — Т. 96. — С. 3—10.
4. Новиков Д.С. Вибрация автомобильного силового агрегата / Д.С. Новиков, А.И. Яманин // Труды НАМИ. — 2012. — Вып. 250. — С. 50—61.
5. Жуков В.А. Анализ алгоритмов расчёта кинематики кривошипно-шатунных механизмов с прицепными шатунами / В.А. Жуков, А.И. Яманин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2016. — № 2. — С. 109—118.
6. Тарануха, Н.А. Рекомендуемые критерии оценки неуравновешенности судовых малооборотных дизелей / Н.А. Тарануха, С.А. Худяков // Учёные записки Комсом.-на-Амуре гос. техн. ун-та. — 2012. — № IV-1(12). — С. 94—99.

УДК 621.43

КАК СЧИТАТЬ ЦИЛИНДРЫ?

Д-р техн. наук **ЗЛЕНКО М.А.**, канд. техн. наук **ТЕРЕНЧЕНКО А.С.**
НАМИ (495.456-57-00)

С рядными двигателями всё понятно. Да и с V-образными, казалось бы, тоже: открываем капот, по левую руку — первый ряд, с цилиндрами 1, 2, 3, 4, по правую — второй, с цилиндрами 5, 6, 7, 8 (рис. 1, *а*). Что и отражено в стандартах — отечественном ГОСТ 23550—79 [1] и аналогичном немецком DIN 73021 [2]. Тем не менее в реальной жизни вопросы возникают, особенно с двигателями, произведёнными за пределами континентальной Европы. Для правильной идентификации цилиндров двигателей американских, японских или британских автомобилей иногда нужно знать не только традиции или "неписанные правила" компаний-производителей, но и год производства конкретного двигателя, поскольку правила эти иногда меняются.

Например, у двигателя "Ягуар" 4,2 л до 2002 года цилиндры нумеровались с указанием ряда (*Bank 1, Bank 2 или Bank Left, Bank Right*): (1)4 — означает, что это четвёртый цилиндр первого ряда, (2)3 означает, что это третий цилиндр второго ряда (рис. 1, *б*). Причём *Bank 1* — это ряд, в котором находится 1-й цилиндр. После 2002 года способ нумерации изменился (рис. 1, *в*). Первый цилиндр стал первым, как по ГОСТ, но второй оказался на месте "гостовского" пятого и далее — в шахматном порядке, таким образом в одном ряду оказались чётные цилиндры, в другом — нечётные. Порядок работы этого двигателя 1-2-7-3-4-5-6-8, и, не зная этих ню-

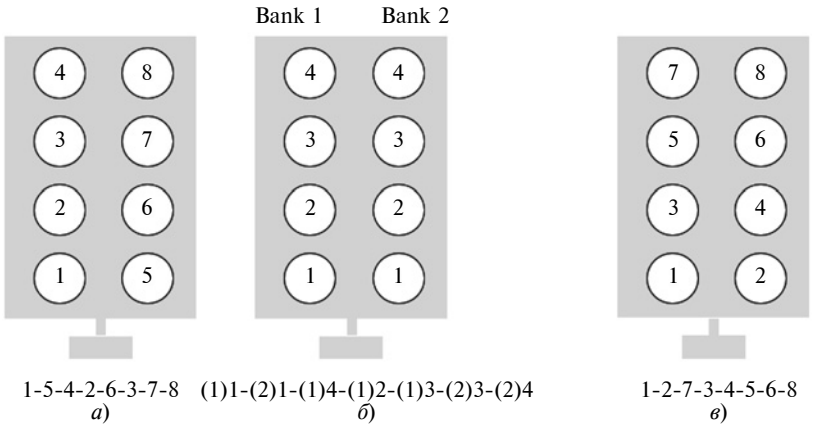

Рис. 1. Системы нумерации и порядок работы цилиндров:
а — ЗИЛ и ЗМЗ; *б* и *в* — "Ягуар" 4,2 л. до и после 2002 г. соответственно

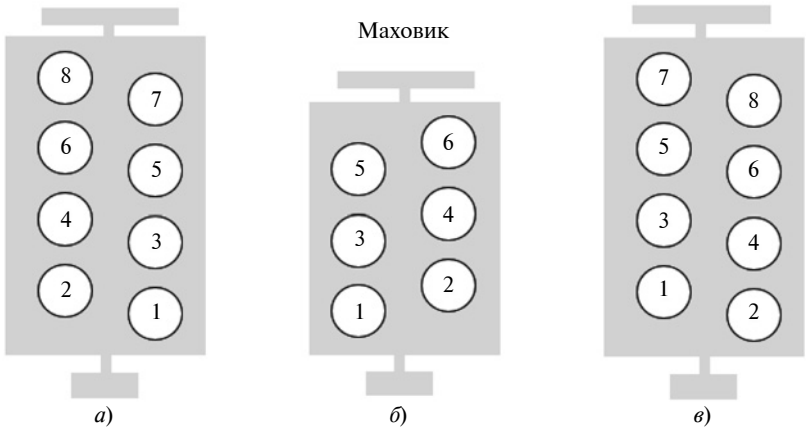

Рис. 2. Нумерация цилиндров двигателей Японии и США:
а — "Тойота" V8 1UR-FE, 3UR-FE; *б* — "Тойота" V6 2GR-FE, 3MZ-FE, "Ниссан" V6 VQ35DE; *в* — "Понтиак" V8 455

ансов, можно было бы подумать, что он отличается от "классического" порядка работы 1-5-4-2-6-3-7-8. На самом деле оба порядка одинаковы, по-разному лишь пронумерованы цилиндры.

Это обстоятельство — различие в способах нумерации цилиндров, породило множество дискуссий в интернет-сообществе, суть которых заключается в поисках ответов на вопросы "Где же первый цилиндр в двигателе?" и "Как правильно истолковать показания системы диагностики...", указывающий на неполадки в цилиндре с таким-то номером? (т.е. где этот цилиндр??).

Итак, американские и японские V-образные двигатели, как правило, нумеруются следующим образом. При продольном расположении двигателя за первый цилиндр принимается самый дальний от водительского места цилиндр (или самый ближний к наблюдателю, смотрящему на двигатель со стороны свободного конца коленчатого вала), независимо от того, в каком ряду он находится. Следовательно, первый цилиндр может находиться и справа от наблюдателя, и слева. Всё зависит от того, какой ряд цилиндров сдвинут вперёд (по ходу движения автомобиля) относительно другого. Если сдвинут левый (при взгляде с водительского места) ряд, то первым будет цилиндр, обозначенный цифрой 1 на рис. 2, *а*. Если сдвинут правый ряд — то первым будет цилиндр, обозначенный цифрой 1 на рис. 2, *б*. Но и здесь возможны исключения: некоторые двигатели "Понтиак" имеют первый цилиндр на стороне пассажира, однако этот цилиндр не является самым передним (рис. 2, *в*). При поперечном расположении действует то же правило: первым будет тот цилиндр, который ближе всего расположен к наблюдателю, смотрящему на двигатель со стороны свободного конца коленвала.

Однако при этом в США единообразия в нумерации цилиндров нет. Например, двигатели "Форд" нумеруются по-европейски (рис. 1, *а*), причём в зависимости от конструкции кулачкового вала используются два порядка работы 1-3-7-2-6-5-4-8 (как у двигателя "Аурус" V8×90°, большинства двигателей "Порше") и 1-5-4-2-6-3-7-8 (как у двигателей ЗИЛ, ЗМЗ).

Разные системы нумерации цилиндров ДВС приняты в различных областях техники (рис. 3). Так, в отличие от автомобильных судовые, тепловозные и промышленные двигатели обозначают с помощью символов, состоящих из заглавной буквы латинского алфавита, обозначающей ряд цилиндров, и цифры, указывающей порядковый номер цилиндра в соответствующем ряду. Начало отсчёта — от наблюдателя, стоящего со стороны основного отбора мощности (рис. 3, *а*). Последовательность обозначения рядов цилиндров начинается с ряда, который первым пересекается воображаемой базовой полуплоскостью, вращающейся по часовой стрелке вокруг оси коленчатого вала двигателя [1]. При этом начальное положение указанной полуплоскости соответствует положению часовой стрелки "9 часов".

В США опять же всё по-другому: нумерация цилиндров судовых двигателей, как правило, начинается от свободного конца коленчатого вала. Так же обозначают цилиндры двигателей для привода промышленных электрогенераторов. Например, дизели "Камминз" V12 нумеруются по рядам (левый/правый — L/R) с присвоением номера в ряду, начиная от свободного конца вала (рис. 4, *а*). Но при этом в двигателях для привода судовых электрогенераторов нумерация цилиндров идёт от маховика.

В России и в большинстве стран Европы автомобильные, тракторные и комбайновые двигатели нумеруются так, как показано на рис. 3, *б* — наблюдатель располагается со стороны, противоположной отбору мощности, вытягивает левую руку в положение "9 часов" и вращает её по часовой стрелке. Первым рядом бу-

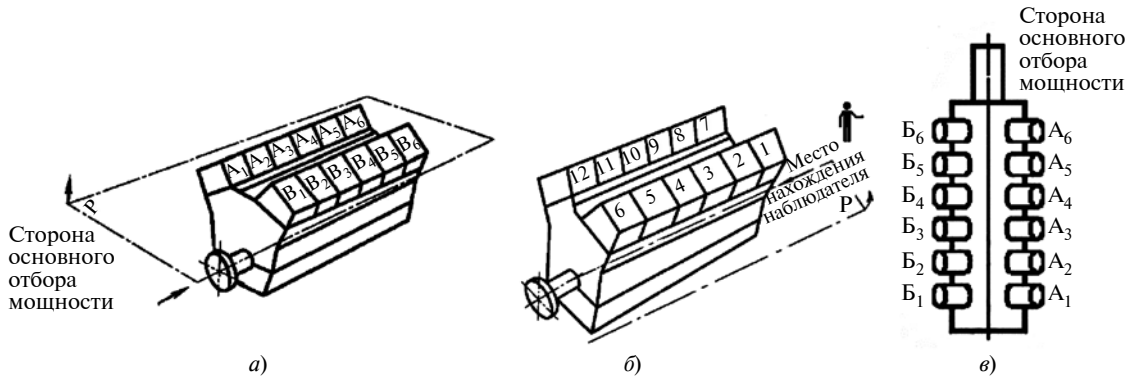

Рис. 3. Нумерация цилиндров отечественных двигателей:
а — судовых, тепловозных и промышленных; *б* — автомобильных, тракторных и комбайновых (ГОСТ 23550—79); *в* — авиационных (ГОСТ Р 53461—2009)

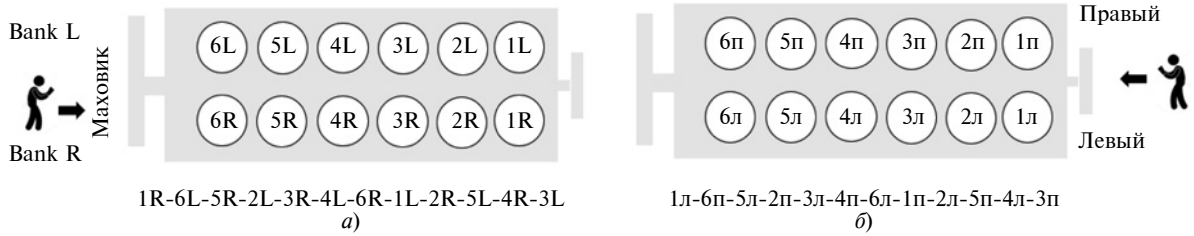

Рис. 4. Нумерация и порядок работы цилиндров двигателей "Камминз" QSK45 (а) и В2 (б)

дет ряд, плоскость которого рука наблюдателя пересечёт первой, второй — следующий по ходу часовой стрелки. Цилиндры имеют сквозную нумерацию — сначала цилиндры первого ряда (1, 2, ... *n*), затем цилиндры второго ряда, начиная с переднего ($n + 1$ и т.д.). Третий ряд в W-образном двигателе нумеруется так же: цилиндрам присваиваются номера $2n + 1$ и далее по порядку.

Но у танкистов свой взгляд на вещи: в двенадцатицилиндровом двигатели типа В2 (В-84, Д-12 и их модификации) цилиндры нумеруют по рядам левый/правый с присвоением номера, начиная от носка коленчатого вала, рис. 4, *б*. Если "перевести" это на автомобильный язык, нумеруя цилиндры по ГОСТ, то порядок работы и "Камминз", и В2, и, например, ЯМЗ 240 будет одинаковым — 1-12-5-8-3-10-6-7-2-11-4-9.

В авиации существуют свои стандарты. Российский ГОСТ Р 53461—2009 [3] предписывает отсчитывать цилиндры от вертикальной базовой полуплоскости, от положения "12 часов". Однорядные звездообразные двигатели (рис. 5, *а*) нумеруются цифрами 1, 2, ... *n* в направлении по часовой стрелке, при этом наблюдатель располагается со стороны, противоположной винту, т. е. так же, как и "автомобилист", но цилиндры считает не от "9 часов", а от "12 часов". При этом порядок работы у однорядного двигателя таков, что сначала работают цилиндры с нечётными номерами, затем с чётными: 1-3-5-2-4 — для 5-цилиндровой "звезды", 1-3-5-7-2-4-6 для 7-цилиндровой и 1-3-5-7-9-2-4-6-8 — для 9-цилиндровой. Цилиндры двухрядного двигателя, располагаемые в шахматном порядке, должны нумероваться цифрами 1, 2 ... *n* в порядке пересечения их осей вращающейся базовой полуплоскостью (рис. 5, *б*). Но если на самолёте установлена трёхрядная "звезда", порядок нумерации иной: сначала нужно присвоить буквенное обозначение (причём кириллицей! — А, Б, В...), а затем номер в порядке, как и для однорядной "звезды" (рис. 5, *в*).

Нумерация оппозитных американских двигателей не стандартизирована. Большинство двигателей "Ликоминг" нумеруются, как показано на рис. 6, *а-б* (взгляд наблюдателя — сверху). Положение первого цилиндра определяется похожим на автомобильные двигатели образом — какой цилиндр дальше всех от пилота (водителя), тот и первый, а дальше — по-американски, в шахматном порядке. Цилиндры двигателей "Континентал" нумеруются иначе — со стороны, противоположной валу отбора мощности (рис. 6, *в*).

Вот такая интересная ситуация... Однако довольно странно, что в отечественной учебной литературе воп-

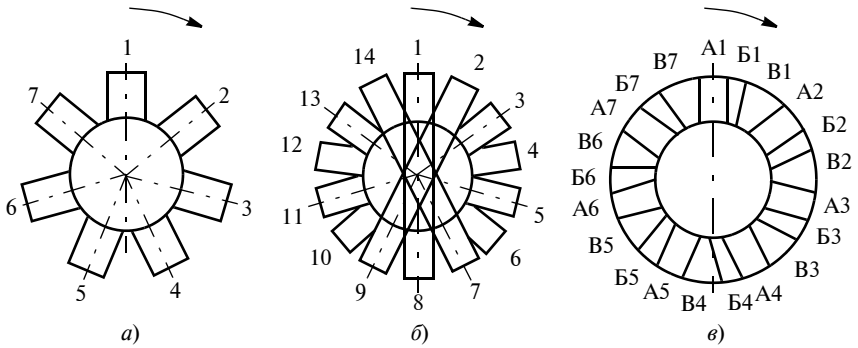

Рис. 5. Нумерация цилиндров авиационных звездообразных двигателей (ГОСТ Р 53461—2009)

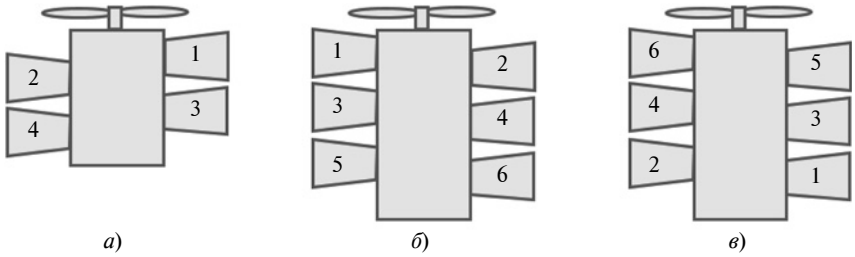

Рис. 6. Нумерация цилиндров оппозитных двигателей "Ликоминг" (а, б) и "Континентал" (в)

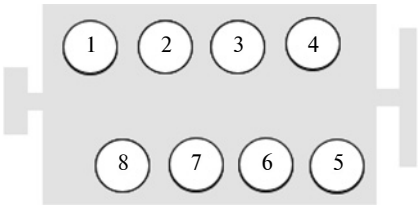

Рис. 7. "Круговая" нумерация цилиндров

росу нумерации цилиндров практически не уделено внимания. В изданиях 1971—1983 гг. учебника под редакцией А.С. Орлина [4] приведены данные по порядку работы двигателей различных конфигураций с привязкой к нумерации цилиндров, однако эта нумерация, во-первых, относится только к судовым, тепловозным и другим промышленным двигателя и не охватывает автомобильные, и, во-вторых, не вполне соответствует требованиям ГОСТ (согласно стандарту, цилиндры должны иметь буквенное — по рядам, и цифровое — в ряду, обозначение, см. рис. 3, *а*. В учебнике же использовано "американское" обозначение рядов — "левый", "правый". В более позднем издании учебника под редакцией Н.Д. Чайнова [5] вопрос нумерации цилиндров вообще опущен.

В некоторых учебных пособиях нумерация цилиндров упоминается, но, как правило, касается рядных двигателей, а в отношении V-образных и других конструкций не даёт однозначного толкования: "Нумерация цилиндров начинается от носка коленвала, а при двух-, и четырёхрядном расположении цилиндров — слева, если смотреть со стороны носка коленвала" [6]. Но, как мы видели, даже узнав положение первого цилиндра, мы не можем точно определить положение второго, если не указать последовательность нумерации. Не имея этих данных, невозможно также установить и правильный порядок работы двигателя.

Нужна ли единая система нумерации цилиндров ДВС? Вопрос открытый. С одной стороны, безусловно, единые правила — это всегда удобнее. На самом деле и с двигателями из континентальной Европы, оказывается не всё так просто: двигатели СААБ и "Рено" нумеруются от маховика, а некоторые двигатели "Феррари" (например, 308) — "по кругу" (рис. 7). А у автовладельцев достаточно часто возникает путаница при использовании понятий "правый"/"левый". С другой стороны, существуют традиции, от которых, наверное, никто не захочет отказываться: американцы — в силу патриотизма, европейцы — в силу рационализма, авиаторы и моряки — в силу своей "исключительности" и преданности обычаям. Да и дело это совсем не дешёвое. Традиция — очень крепкая вещь. Ведь киловатт, хоть и "мощнее" в 1,36 раза, но так и не смог победить лошадиную силу, хотя использование в СССР Международной системы единиц (СИ) предписывалось ещё ГОСТом 9867—61, несоблюдение которого преследовалось законом. Но в учебном процессе кое-что, наверное, надо поправить.

Литература

1. ГОСТ 23550—79. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Обозначение и нумерация цилиндров
2. DIN 73021 Designation of the rotational direction, the cylinders and the ignition circuits of motorcar engines.
3. ГОСТ Р 53461—2009. Двигатели авиационные и их узлы. Методы нумерации и описание направления вращения.
4. Конструирование и расчёт на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Под редакцией А. С Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1984.
5. Чайнов Н.Д. (ред.) Конструирование двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
6. Иванов Д.Ю. и др. Конструкции автомобилей. Часть 1. Автомобильные двигатели. Текст лекций. — Челябинск: изд-во ЮУРГУ, 2008. с. 22.

УДК 629.33

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНЫХ РАДИУСОВ КОЛЕСА В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Д-р техн. наук **БАЛАКИНА Е.В., СЕРГИЕНКО И.В.**
Волгоградский ГТУ (*balakina@vstu.ru*)

Приводится разработанная схема использования различных видов радиусов колеса в разных задачах, связанных с моделированием свойств активной безопасности автомобиля. Схема базируется на результатах многочисленных исследований.

Ключевые слова: *шина, свободный радиус, статический радиус, динамический радиус, радиус качения, моделирование свойств активной безопасности автомобиля.*

Balakina E.V., Sergienko I.V.

APPLICATION OF WHEEL RADIUS TYPES IN TASKS RELATED TO THE MODELING OF THE PROPERTIES OF AUTOMOBILE ACTIVE SAFETY

The article presents the developed scheme of using types of wheel radii in various tasks related to modeling the properties of automobile active safety. The scheme is based on the results of numerous studies.

Keywords: *tire, free radius, static radius, dynamic radius, rolling radius, modeling the properties of automobile active safety.*

Различают следующие радиусы колеса: свободный R_0, статический R_{st}, динамический R_d, качения (кинематический) r_k (рис. 1).

Свободный радиус колеса — половина наружного диаметра, т.е. диаметра наибольшего окружного сече-

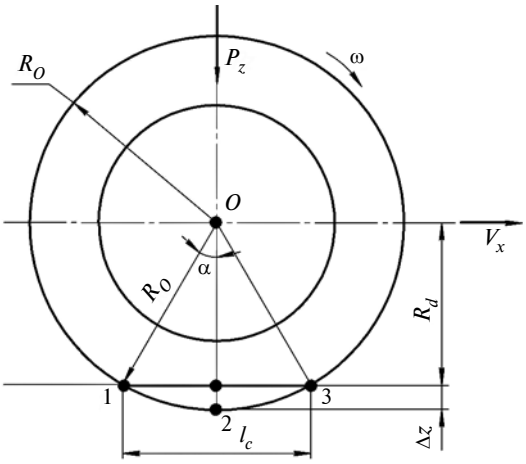

Рис. 1. Виды радиусов колеса

ния беговой дорожки при отсутствии контакта колеса с опорной поверхностью [12]. Статический радиус колеса — расстояние от его центра до опорной плоскости, при условии, что колесо нагружено только статической нормальной нагрузкой. Динамический радиус — расстояние от центра колеса до опорной плоскости при движении колеса.

Радиус качения колеса — отношение продольной составляющей поступательной скорости колеса к его угловой скорости [12] при качении без скольжения. Радиус качения ещё называют кинематическим радиусом. По сути, это средний радиус колеса, катящегося без скольжения. Его можно определять по приближённой зависимости [4]:

$$r_k \approx R_0\left[\left(1 - \frac{\arcsin(\sqrt{n(2-n)})}{\pi}\right) + \frac{\sqrt{n(2-n)}}{\pi}\right],$$

где n — относительная радиальная деформация шины ($n = \Delta z/R_0$).

В.А. Петрушов установил также корректирующую зависимость радиуса качения от тангенциальной эластичности диагональной шины и подведённого крутящего момента [16, 17]: $r_k = r_{k0} - C_t\beta M_k$, где $C_t\beta$ — коэффициент крутильной жёсткости шины; M_k — крутящий момент, подведённый к колесу; r_{k0} — радиус качения в свободном режиме. Вследствие существенно меньшей тангенциальной эластичности радиальной шины, учётом зависимости $r_k = f(M_k)$ можно пренебречь.

Радиусы эластичного колеса (шины) могут иметь разные величины. При этом всегда $R_{st} < R_0$; $R_d \le R_0$. В зависимости от радиальной деформации шины, $R_d <> R_{st} \wedge R_d = R_{st}$. Радиус качения $r_k \le R_0$; $r_k > R_{st}$; $r_k \ge R_d$.

Несмотря на большое число исследований по теории качения эластичного колеса, специалисты до сих пор не выработали единого мнения, какой радиус следует применять в каких задачах. При этом разница между R_d и r_k, например, может доходить до 20 %, что, естественно, сопровождается и разницей в расчётах, в которых эти радиусы используются.

Многие моменты здесь проявил С.П. Пожидаев [18, 19], который показал, что для описания кинематических, силовых и энергетических показателей работы колеса правильным будет использовать радиус качения колеса [18, 19]. Применение же в теории качения эластичного колеса динамического радиуса противоречит основным законам механики. Этим автором установлено, что показателем взаимосвязи между приложенным к колесу крутящим моментом и силой тяги служит радиус качения, взятый без учёта проскальзывания или буксования [19].

Помимо проблем моделирования движения колеса в ведомом и ведущем режимах при описании тягово-скоростных свойств автомобиля, существуют и другие, связанные с моделированием свойств активной безопасности автомобиля, где применяемый радиус колеса также играет немаловажную роль.

Предлагаемая схема применения видов радиусов колеса в разных задачах, связанных с моделированием свойств активной безопасности автомобилей показана на рис. 2. Здесь перечислены свойства активной безопасности автомобиля и основные явления, определяющие параметры этих эксплуатационных свойств. Это: увод эластичного колеса, большие и малые колебания управляемых колёс, продольное и поперечное перераспределение нагрузок на колёса, продольное и поперечное скольжение в пятне контакта. Интенсивность указанных явлений связана с множеством параметров первого и второго уровня, но на данной схеме приведены *не все*, а *только те* из них, которые так или иначе зависят от одного из радиусов колеса!

При расчёте параметров увода требуется знать, в первую очередь, длину пятна контакта шины с дорогой. Она определяется одновременно и свободным радиусом (у большого колеса длинное пятно контакта), и динамическим радиусом, связанным с текущей радиальной деформацией шины.

Возмущающий момент на управляемом колесе от боковой реакции опорной поверхности зависит от двух факторов, определяющих плечо этой реакции: продольного наклона оси поворота колеса и продольного смещения участка с трением покоя, которым реализуется боковая реакция и к центру которого она приложена. Поэтому для вычисления указанного момента требуется свободный радиус и радиусы, фигурирующие при расчёте длины пятна контакта.

Более сложная задача — обоснование выбора используемого радиуса колеса при определении φ—s_x-диаграммы. Для её построения требуется знать коэффициент продольного скольжения колеса (КПСК) s_x. Задача определения КПСК s_x встречается при математическом предсказательном моделировании свойств активной безопасности колёсных машин, а также при их физическом моделировании на имитационных стендах, стендах-тренажерах и при создании автоматических беспилотных автомобилей.

Был проведён расчётный анализ влияния вида используемого радиуса при расчёте КПСК на форму получаемых φ—s_x-диаграмм [4] и сделан вывод о целесообразности использования при расчётах КПСК s_x свободного радиуса или радиуса качения шины (но не динамического!). Конечно, с точки зрения механики, грамотнее было бы использовать радиус качения. Но,

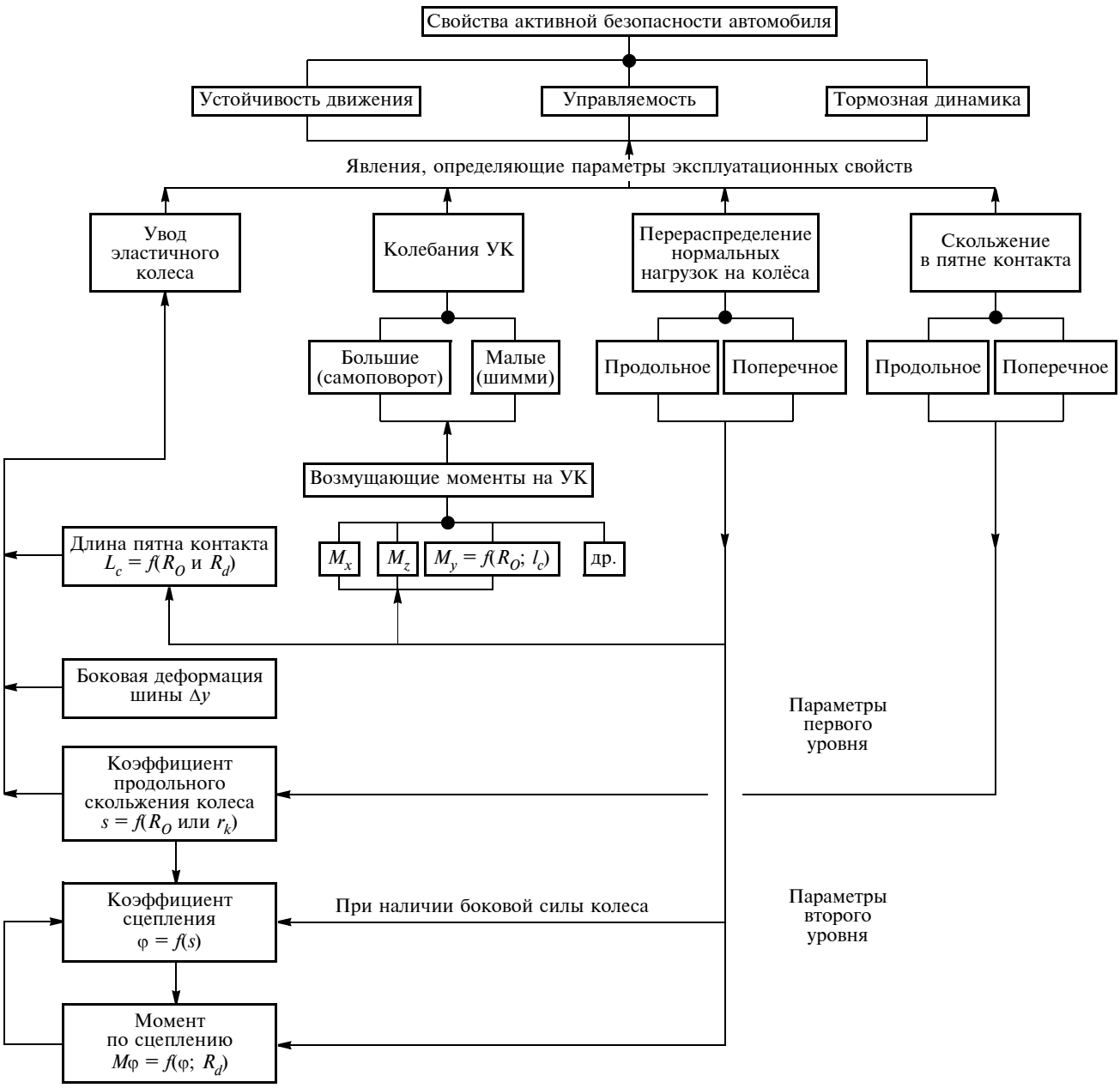

Рис. 2. Схема применения видов радиусов колеса в разных задачах, связанных с моделированием свойств активной безопасности автомобилей

поскольку он отличается от свободного радиуса, даже при максимально допустимых деформациях шины, не более чем на 2 %, и это расхождение не оказывает видимого влияния на расчётные φ—s_x-диаграммы при разных величинах боковой силы, появившейся до или после начала торможения колеса, то нет необходимости усложнять задачу расчётом радиуса качения в каждый момент движения, поскольку это увеличивает время счёта, а использование свободного радиуса даёт тот же результат. А приближённо рассчитать радиус качения с достаточной для практических расчётов точностью можно по приведённым выше зависимостям.

Литература

1. Ахметшин А.М. Исследование процесса торможения автомобиля с АБС / А.М. Ахметшин, В.А. Рязанцев // Журнал автомобильных инженеров. — 2015. — № 1 (90) — С. 16—19.
2. Балабин И.В. Автомобильные и тракторные колеса и шины / И.В. Балабин, В.А. Путин, И.С. Чабунин. — МГТУ "МАМИ", 2012. — 920 с.
3. Балабин И.В. Шины и работа автомобиля / И.В. Балабин, А.А. Логунов, А.М. Ракляр. — М.: НИИавтопром, 1973. — 95 с.
4. Балакина Е.В. К вопросу об определении коэффициента продольного скольжения колеса / Е.В. Балакина, Д.С. Сарбаев // Автомобильная промышленность. — 2018. — № 10. — С. 25—27.
5. Балакина Е.В. Определение взаимного расположения сил, реакций и зон трения в пятне контакта эластичного колеса с твёрдой поверхностью / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов // Трение и износ. — 2015. — Т. 36. № 1. — С. 36—40.
6. Балакина Е.В. Расчёт геометрического положения и размеров зон трения покоя и скольжения в пятне контакта эластичного колеса с твёрдой опорной поверхностью / Е.В. Балакина // Трение и износ. — 2017. — Т. 38. № 2 — С. 136—143.
7. Балакина Е.В. Коэффициент сцепления шины с дорожным покрытием / Е.В. Балакина, А.В. Кочетков. — Москва: "Иннновационное машиностроение", 2017. — 292 с.
8. Балакина Е.В. Устойчивость движения колесных машин / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов. — Волгоград: РПК "Политехник". 2011. — 464 с.

9. Бидерман В.Л. Автомобильные шины (конструкция, расчёт, испытание, эксплуатация) / В.Л. Бидерман, Р.Л. Гуслицер, С.П. Захаров и др. / Под общ. ред. В.Л. Бидермана. — М.: Госхимиздат, 1963. — 384 с.
10. Бузунов Н.В. Совершенствование методов разработки бортовых информационно-управляющих систем колёсных и гусеничных машин / Н.В. Бузунов, Г.О. Котиев, А.В. Мирошниченко // Журнал автомобильных инженеров. — 2015. — № 4 (93). — С. 11—15.
7. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. — М.: Химия, 1988. — 223 с.
8. ГОСТ 17697—72 Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 1973. — 23 с.
9. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров и др. / Под ред. В.И. Кнороза. — М.: Транспорт, 1976. — 240 с.
10. Кравец В.Н. Теория автомобиля: Учебник для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. — М.: ООО "Гринлайт+", 2011. — 884 с.
11. Литвинов А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: Учебник для втузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
12. Петрушов В.А. Автомобили и автопоезда: Новые технологии исследования сопротивлений качения и воздуха. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008. — 352 с.
13. Петрушов В.А. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов / В.А. Петрушов, С.А. Шуклин, В.В. Московкин. — М.: Машиностроение, 1975. — 224 с.
14. Пожидаев С.П. О некоторых уточнениях теории качения эластичного колеса / С.П. Пожидаев // Автомобильная промышленность. — 2013. — № 12. — С. 13—15.
15. Пожидаев С.П. О теории качения эластичного колеса с позиций механики / С.П. Пожидаев // Автомобильная промышленность. — 2014. — № 11. — С. 16—17.
16. Селифонов В.В. Теория автомобиля: Учебное пособие. — М.: Гринлайт, 2009. — 208 с.
17. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
18. Туренко А.Н. Методы расчёта реализуемого коэффициента сцепления при качении колеса в тормозном режиме / А.Н. Туренко, С.И. Ломака, Л.А. Рыжих, Д.Н. Леонтьев // Автомобильный транспорт. — 2010. — № 27. — С. 7—12.
19. Федотов А.И. Динамический метод диагностики пневматического тормозного привода автомобилей: монография. — Иркутск: Изд-во ИрНИТУ, 2015. — 514 с.
20. Халезов В.П. Повышение информативности дорожного метода диагностики тормозных систем автотранспортных средств в условиях эксплуатации. — Дисс. ... канд. техн. наук. — Иркутск, 2015. — 233 с.
21. Pacejka H.B. Tire and Vehicle Dynamics. — Published by Elsevier Ltd, USA, 2012.
22. Reza N. Jazar. Vehicle Dynamics: Theory and Application. — Springer Science + Business Media, LLC, 2008, 1015 p.

УДК 62-254

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЁС С БЕЗВОЗДУШНЫМИ ШИНАМИ

Канд. техн. наук **МАЗУР В.В.**
Братский ГУ (3953.33-20-08)

Приведены результаты исследования колёс с безвоздушными шинами на автомобиле ВАЗ-2115 в процессе их затухающего движения по барабанам стенда.

Ключевые слова: *полиуретановые шины, коэффициент сопротивления качению, выбег, момент инерции, стенд с беговыми барабанами, характеристика нормальной жёсткости.*

Mazur V.V.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF RESISTANCE TO THE ROLLING OF AUTOMOBILE WHEELS WITH AIRLESS TIRES

The results of the study of wheels with airless tires on the car VAZ-2115 in the process of their damped movement on the drums of the stand.

Keywords: *polyurethane tires, rolling resistance coefficient, run-out, moment of inertia, stand with running drums, characteristic of normal rigidity.*

Простота и высокая эффективность колёсного движителя как механизма для преобразования вращательного движения в поступательное обусловили широкое его применение на наземных машинах, в том числе и на автомобилях. Однако колесо с пневматической шиной имеет существенный недостаток: при потере герметичности и избыточного давления воздуха в ней движение колёсной машины становится невозможным. Более того, при движении автотранспортного средства с высокой скоростью разгерметизация шины может привести к дорожно-транспортному происшествию с тяжёлыми последствиями. Остановка автомобиля для замены колеса на проезжей части или на обочине дороги с интенсивным движением также представляет опасность. Особенно остро эта проблема касается автомобильной техники военного назначения, так как в условиях боевых действий неподвижная машина становится удобной мишенью для гранатомётов и прицельного огня стрелкового оружия, что в значительной степени влияет на шансы военнослужащих остаться в живых и выполнить боевую задачу. Эти причины определяют необходимость как совершенствования известных конструкций, так и поиска новых конструктивных решений колёсных движителей для повышения безопасности гражданских и живучести армейских автомобилей, одним из которых является применение колёс с безвоздушными шинами из эластичных полимерных материалов. Повышение живучести и безопасности применением безвоздушных шин при сохранении высоких показателей основных эксплуатационных свойств колёсной машины является важной научно-технической задачей и определяет актуальность исследований.

Безвоздушные шины из эластичных полиуретанов были впервые применены на колёсной бронетехнике Южно-Африканской международной технологической компанией совместно с Южно-Африканским институтом оборонных исследований. Значительный вклад в создание и совершенствование безвоздушных шин внесли зарубежные компании, такие как "Юнироял", "Мишлен", "Ресилиент Технолоджис" совместно с Центром полимерной инженерии США, "Полярис", "Йокогама", "Бриджстоун", "Ханкук", "Тойо", "Боинг", "Америтайр", "Сумитомо", "Брайтек" и др.

В России исследованиями безвоздушных колёсных движителей занимаются ООО "Веском НИЦШП" [1], МГТУ имени Н.Э. Баумана [2], Южно-Уральский ГУ, Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева и др. Кафедра автомобильного транспорта Братского государственного университета также имеет опыт в разработке и исследованиях автомобильных безвоздушных шин из

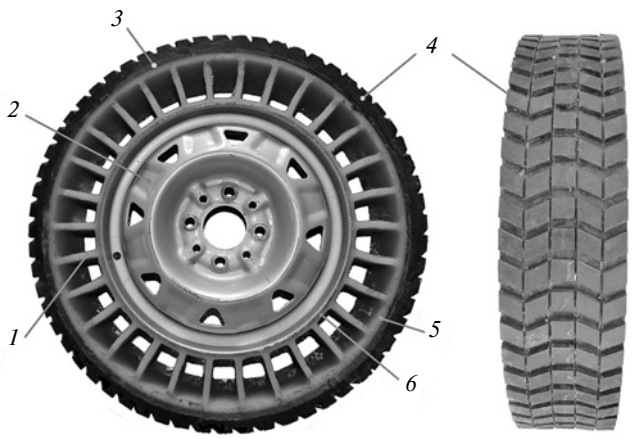

Рис. 1. Автомобильное колесо с безвоздушной шиной из эластичных полиуретанов:

1 — гибкие спицы; *2* — стандартное дисковое колесо 5*JX*13*H*2 с глубоким ободом; *3* — опорное кольцо; *4* — протектор; *5* — соединительное кольцо; *6* — посадочное кольцо

эластичных полиуретанов. Проведённый анализ конструкций и патентный поиск позволили найти новые технические решения, направленные на совершенствование автомобильной безвоздушной шины, разработать научно-обоснованную конструкцию, рассчитать и изготовить натурные образцы автомобильных колёс с безвоздушными шинами.

Натурный образец колеса (рис. 1) представляет собой неразборную конструкцию и состоит из непневматической полиуретановой шины с гибкими спицами и стандартного стального штампованного дискового колеса ВАЗ 5JX13H2 с глубоким ободом без закраин. Прочная и надёжная связь дискового колеса и безвоздушной шины обеспечивается высокой адгезией эластичного полиуретана к внутренним специально подготовленным металлическим поверхностям обода, а упругие свойства и несущая способность колёсного движителя — физико-механическими свойствами гибких спиц и опорного кольца. Под действием весовой нагрузки в зоне контакта колеса с поверхностью дороги гибкие полиуретановые спицы испытывают продольный изгиб и теряют устойчивость, а в верхней полуокружности безвоздушной шины — находятся в напряжённом состоянии под действием растягивающих сил.

Для изготовления натурных образцов безвоздушных шин применялись двухкомпонентные литьевые эластичные полиуретаны горячего отверждения производства Научно-производственного предприятия ООО "Сурэл" (Санкт-Петербург) на основе преполимеров СУРЭЛ ТФ-228, СУРЭЛ ТФ-235, СУРЭЛ ТФ-682 и СКУ-ПФЛ-100. В рамках программы экспериментальных исследований в дорожных условиях и лабораториях кафедры автомобильного транспорта была произведена оценка несущей способности, упругих и демпфирующих свойств изготовленных натурных образцов автомобильных колёс с безвоздушными шинами [3, 4], а также их силовой неоднородности и способности самоочищаться от грязи в процессе качения [5].

В качестве примера на рис. 2 приведена характеристика нормальной жёсткости одного из натурных образцов безвоздушной шины, упругие свойства и несущая способность которого наиболее близки к пневматической шине такого же размера. Однако при этом образец обладает повышенным демпфированием, которое при оценке коэффициентом механических потерь превышает в 2,1, а при оценке коэффициентом неупругого сопротивления — в 2,98 раза демпфирование пневматической шины.

Технические показатели натурного образца колеса с безвоздушной шиной

Преполимер гибких спиц, протектора, посадочного и соединительного колец	СУРЭЛ ТФ-228
Преполимер опорного кольца	СУРЭЛ ТФ-682
Число гибких спиц	30
Толщина гибких спиц, мм	8
Длина гибких спиц, мм	55
Ширина профиля шины, мм	120
Высота профиля шины, мм	100
Свободный радиус колеса, мм	265
Толщина опорного кольца, мм	8
Высота протектора, мм	25
в том числе высота рисунка протектора, мм	5
Масса, кг	14
Коэффициент нормальной жёсткости, кН/м	134
Коэффициент неупругого сопротивления, Нс/м	936

Дальнейшие экспериментальные исследования направлены на определение параметров и характеристик натурных образцов безвоздушных шин, влияющих на тягово-скоростные свойства автомобиля, в частности на определение сопротивления качению.

В соответствии с ГОСТ 17697—72 "Автомобили. Качение колеса. Термины и определения" потери на качение можно оценить мощностью сопротивления качению колеса N_f, силой сопротивления качению P_f и коэффициентом сопротивления качению колеса f. Одним из известных и широко применяемых методов экспериментального определения сопротивления ка-

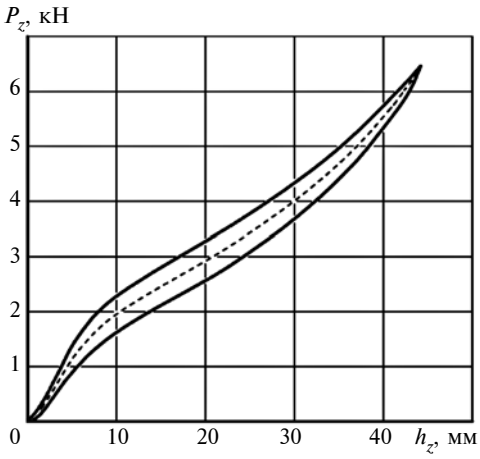

Рис. 2. Характеристика нормальной жёсткости безвоздушной шины

чению является метод выбега, который можно реализовать как в дорожных, так и в лабораторных условиях.

Методика экспериментального определения сопротивления качению методом выбега в лабораторных условиях изложена в ГОСТ Р 52102—2003 "Шины пневматические. Определение сопротивления качению методом выбега". Методика предлагает проводить испытания колеса в сборе с пневматической шиной на беговом барабане с электромеханическим приводом. В этом случае выбег — это свободное движение системы вращающихся масс стенда и колеса с испытуемой шиной, затухающее под действием сил сопротивления их вращению.

В соответствии с ГОСТ Р 52102—2003 зависимость силы и коэффициента сопротивления качению колеса от скорости получают при установившемся тепловом состоянии в результате обработки кривой зависимости остаточного пути выбега от времени, зарегистрированной с помощью прибора испытательного стенда — измерителя интервалов времени со встроенной памятью и фотоэлектрическими датчиками, фиксирующими моменты прохождения меток-рефлекторов, установленных на барабане стенда и ободе колеса с испытуемой шиной. При этом измерения должны осуществляться со скоростью не менее 80 км/ч.

Кафедра автомобильного транспорта располагает стендом с беговыми барабанами "Картэк" *LPS* 2020 *4WD*, предназначенным для измерения мощности на ведущих колёсах автомобиля. По своим техническим характеристикам стенд соответствует требованиям, предъявляемым к стендам для определения сопротивления качению автомобильных колёс методом выбега, и позволяет проводить испытания со скоростью до 300 км/ч и весовой нагрузкой на ось до 3,5 т.

Однако необходимо учитывать, что величина коэффициента сопротивления качению колеса с эластичной шиной по двум беговым барабанам существенно отличается от коэффициента сопротивления качению по одному барабану, а также по ровной дороге с твёрдым покрытием и может быть больше в несколько раз [6].

Экспериментальное определение сопротивления качению изготовленных натурных образцов автомобильных безвоздушных шин по барабанам стенда осуществлялось в режиме "разгон—выбег" по известной отработанной методике, которая применяется при проведении лабораторных работ, выполняемых студентами автомобильных профилей в соответствии с учебными планами кафедры.

Рис. 3. Автомобиль на барабанах мощностного стенда "Картэк" LPS 2020 4WD в процессе экспериментального определения сопротивления качению натурных образцов безвоздушных шин

В соответствии с указанной методикой сила сопротивления качению автомобильных колёс по барабанам стенда определяется формулой 1, приведённой в таблице. Скорость автомобиля по барабанам стенда можно рассчитать по формуле 2. Момент трения в трансмиссии автомобиля, как это известно из теории автомобиля и трактора, определяется по формуле 3.

Сопротивление качению колёс определялось на переднеприводном автомобиле ВАЗ-2115 с безвоздушными и пневматическими шинами в процессе их затухающего движения по барабанам стенда (рис. 3). В процессе эксперимента колёса автомобиля разгонялись по барабанам стенда до 100 км/ч (контроль скорости осуществлялся с помощью измерительного комплекса мощностного стенда, так как из-за меньшего радиуса качения безвоздушных шин в сравнении с пневматическими БЛ-85 175/70*R*13 при номинальном избыточном давлении воздуха показания автомобильного спидометра значительно отличаются от действительных). Переход в режим выбега осуществлялся путём выключения сцепления и передачи в коробке передач автомобиля. При этом зависимость частоты вращения барабанов стенда от времени выбега и частично разгона $n_б = n_б(t)$ (рис. 4) регистрировалась с помощью комплекта аппаратуры, состоящего из переносного анализатора спектра низкочастотного диапазона *ZET* 017-*U*2 (рис. 5, *а*) с программным обеспечением *ZETLab*, бесконтактного оптического датчика

№	Формула	Примечания
1	$P_б = \left(\Sigma J_к + \frac{(\Sigma J_б + J_р) r_д r_к}{r_б^2}\right) \frac{dV_а}{r_д r_к dt} - \frac{M_{тр}}{r_д}$	$\Sigma J_к$ — суммарный момент инерции колёс; $\Sigma J_б$ — суммарный момент инерции барабанов стенда; $J_р$ — момент инерции ротора электродинамического тормоза стенда; $r_д$ — динамический радиус колеса; $r_к$ — кинематический радиус колеса; $r_б$ — радиус барабана стенда ($r_б$ = 160 мм); $dV_а$ — изменение скорости; dt — изменение времени; $M_{тр}$ — момент трения в трансмиссии автомобиля
2	$V_а(t) = \omega_б(t) r_б = 0{,}1047 n_б(t) r_б$	$\omega_б$ — угловая скорость вращения барабанов мощностного стенда; $n_б$ — частота вращения барабанов стенда, мин$^{-1}$
3	$M_{тр} = (2 + 0{,}09 V_а) m_с g r_д \cdot 10^{-3}$	$m_с$ — масса автомобиля в снаряжённом состоянии, включая водителя

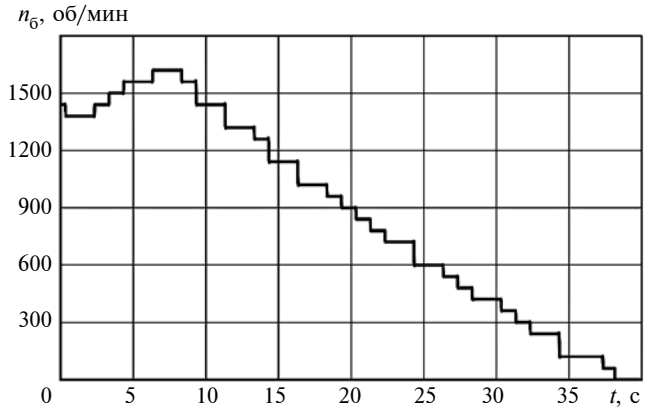

Рис. 4. Зависимость частоты вращения барабанов стенда от времени при выбеге автомобиля ВАЗ-2115 с безвоздушными шинами

а) *б*)

Рис. 5. Измерительная аппаратура компании ZETLab:
а — анализатор спектра *ZET* 017-*U t*2; *б* — датчик оборотов *BC* 401 *ICP*

оборотов (тахометрического преобразователя) *BC* 401 *ICP* (рис. 5, *б*), установленного в ламповый штатив, и нетбука.

Датчик частоты вращения *BC* 401 *ICP* обеспечивал формирование импульсов, частота повторения которых пропорциональна частоте прохождения тахометрической метки, установленной на одном из беговых барабанов стенда, через область чувствительности датчика. Зависимость частоты вращения барабана стенда от времени регистрировалась программами *"Тахометр"* и *"Многоканальный осциллограф"*, разработанными компанией "ЗЕТЛаб" и поставляемыми в комплекте с аппаратурой. При этом программа *"Тахометр"* подсчитывала количество полных оборотов барабана, а программа *"Многоканальный осциллограф"* непрерывно регистрировала в файл и отображала в виде зависимости $n_б = n_б(t)$ на экране компьютера сигнал, поступающий на входной канал анализатора спектра *ZET 017-U2.*

Полученные зависимости были аппроксимированы полиномами второй степени для возможности их дифференцирования в соответствии с приведённой выше методикой. В частности, для автомобиля с безвоздушными шинами зависимость $n_б = n_б(t)$ была аппроксимирована как $n_б = 0{,}4793t^2 - 67{,}467t + 1673{,}9$, а с пневматическими — $n_б = 0{,}4023t^2 - 67{,}605t + 1654{,}7$ (рис. 6).

Осевые моменты инерции колёс были определены методом качания физического маятника, а моменты инерции барабанов и ротора мощностного стенда — методом падающего груза. При этом передние колёса автомобиля ВАЗ-2115 как с безвоздушными, так и с пневматическими шинами имеют суммарный момент инерции $\Sigma J_к = 2 \times 0{,}645 = 1{,}29$ кгм^2. Момент инерции поддерживающих барабанов — $2 \times 2{,}562 = 5{,}124$ кгм^2. Момент инерции системы из двух тормозных барабанов и ротора — 15,66 кгм^2.

Итоговый график зависимости силы сопротивления качению колёс с безвоздушными и, для сравнения, пневматическими шинами по барабанам стенда от скорости, рассчитанный с применением формул 1—3, приведён на рис. 7.

Сила сопротивления качению натурных образцов безвоздушных шин по барабанам стенда и её зависимость от скорости практически не отличается от сопротивления качению пневматических шин БЛ-85 175/70*R*13 при номинальном давлении воздуха. Увеличение силы не превышает 1 %.

Полученные результаты эксперимента не противоречат заявлениям зарубежных компаний, в частности "Мишлен", о повышенных демпфирующих свойствах безвоздушных шин при меньшем сопротивлении качению. Более того, компании "Мишлен" одной из первых удалось добиться уменьшения сопротивления качению безвоздушных шин с гибкими спицами из эластичных полиуретанов на 5 % в сравнении с пневматическими шинами.

По результатам многочисленных стендовых и дорожных испытаний можно сказать, что новые конс-

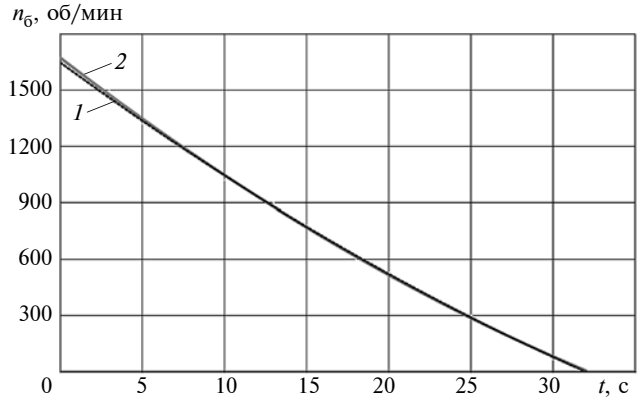

Рис. 6. Аппроксимированные зависимости частоты вращения барабанов стенда от времени при выбеге автомобиля:
1 — с пневматическими шинами БЛ-85 175/70*R*13; *2* — с безвоздушными шинами

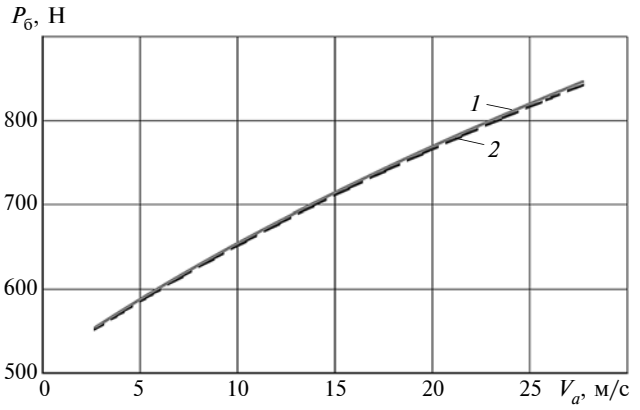

Рис. 7. График зависимости силы сопротивления качению по барабанам стенда от скорости:
1 — колёс с безвоздушными шинами; *2* — колёс с пневматическими шинами БЛ-85 175/70*R*13

трукции колёс с безвоздушными шинами могут быть востребованы изготовителями гражданских и военных автомобилей, колёсной бронетехники и тракторов, лесных, строительных и дорожных машин, спецавтотранспорта и колёсных планетоходов. Однако их серийное производство и широкое применение требует дальнейших глубоких теоретических и экспериментальных исследований и испытаний в различных режимах и условиях эксплуатации, а также совершенствования физико-механических свойств эластичных полимерных материалов в направлении уменьшения гистерезисных потерь.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках направления "Создание энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств" федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (государственный контракт № 14.740.11.0319, 17 сентября 2010 г. — 26 ноября 2012 г.).

Литература

1. Веселов И.В., Гамлицкий Ю.А., Жердецкий А.С., Соколов С.Л. Расчёт и компьютерная оптимизация безвоздушной шины. Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии. Доклады XXI научно-практической конференции, 2016. С. 151—154.
2. Карташов А.Б. Разработка крупногабаритных колёсных движителей из композиционных материалов на основе стеклопластика. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 149 с.
3. Мазур В.В. Автомобильные колёса с безвоздушными шинами. Результаты стендовых испытаний. Транспорт: наука, техника, управление, 2016, № 2. С. 41—47.
4. Мазур В.В. Разработка и испытания автомобильных безвоздушных шин. Вестник машиностроения, 2017, № 3. С. 86—88.
5. Мазур В.В., Мазур М.А. Экспериментальная оценка способности автомобильных безвоздушных шин самоочищаться от грязи. Системы. Методы. Технологии, 2014. № 3 (23). С. 78—82.
6. Бойко А.В., Федотов А.И., Цогт Д. Экспериментальное исследование сил сопротивления качению колеса автомобиля по роликам стенда. Вестник Иркутского государственного технического университета, 2011, № 8 (55). С. 115—121.

Читатель предлагает

УДК 621.8.023.4

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ КЛИНОВОЙ МЕХАНИЗМ

РОМАШИН Р.В.
ТИ НИЯУ МИФИ (rvromashin@yandex.ru)

Рассмотрены особенности существующих кривошипно-шатунных механизмов. Показаны механизмы с винтовой поверхностью для получения вращательного движения из линейного движения и их недостатки. Предложена новая конструкция, обеспечивающая вращение в одну сторону. Представлены экспериментальные данные по удельному моменту, которые говорят о широком применении механизма.

Ключевые слова: *кривошипно-шатунный механизм, двигатель, привод, вращающий момент, винтовая поверхность, цилиндрический клиновой механизм, удельный момент.*

Romashin R.V.
CYLINDRICAL WEDGE MECHANISM

Features of existing crank mechanism are considered. Mechanisms with a screw surface for reception of rotation movement from linear movement and their deficiencies are shown. The new construction providing rotation in one side is offered. Experimental data on the specific moment which speak about wide application of the mechanism are presented.

Keywords: *crank mechanism, engine, drive, torque moment, screw surface, cylindrical wedge mechanism, specific moment.*

Преобразование поступательного движения во вращательное в подавляющем большинстве случаев осуществляется с помощью рычажных механизмов. Самым ярким примером машины, использующей рычажный четырёхзвенный механизм, т. е. кривошипно-ползунный механизм, является поршневой двигатель внутреннего сгорания. В моторостроении такой механизм чаще называют кривошипно-шатунным. Достоинства его хорошо известны, но присущи этой конструкции и недостатки.

Силы и моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме, непрерывно изменяются и, если они не уравновешены, вызывают сотрясение и вибрацию двигателя. Двигатель считается полностью уравновешенным, если при установившемся режиме работы силы и моменты, действующие на его опоры, постоянны по величине и направлению. Однако поршневые двигатели не могут быть полностью уравновешенными, так как крутящий момент — периодическая функция угла поворота коленчатого вала и, следовательно, величина опрокидывающего момента всегда переменна. Неравномерность изменения суммарного крутящего момента обусловливается особенностями протекания рабочего процесса двигателя и кинематическими свойствами его кривошипно-шатунного механизма [1]. Достижение наивысшей мощности в узком диапазоне частоты вращения коленчатого вала, необходимость повышения равномерности его вращения за счёт числа цилиндров двигателя, несоответствие максимума тангенциальной силы максимуму сил давления газов, воздействие нормальной силы на поршень в цилиндре, большие удельные нагрузки в парах трения — все эти недостатки двигателя внутреннего сгорания есть прямое следствие применения кривошипно-шатунного механизма. Величины инерционных усилий, действующих в двигателе, зависят от размеров элементов такого механизма и их соотношений. Например, за счёт увеличения длины шатуна происходит снижение инерционных и нормальных сил, но при этом увеличиваются высота двигателя и его масса. Поэтому отношение радиуса кривошипа к длине шатуна находится в оптимальном диапазоне. Максимальная частота вращения коленчатого вала, кроме усло-

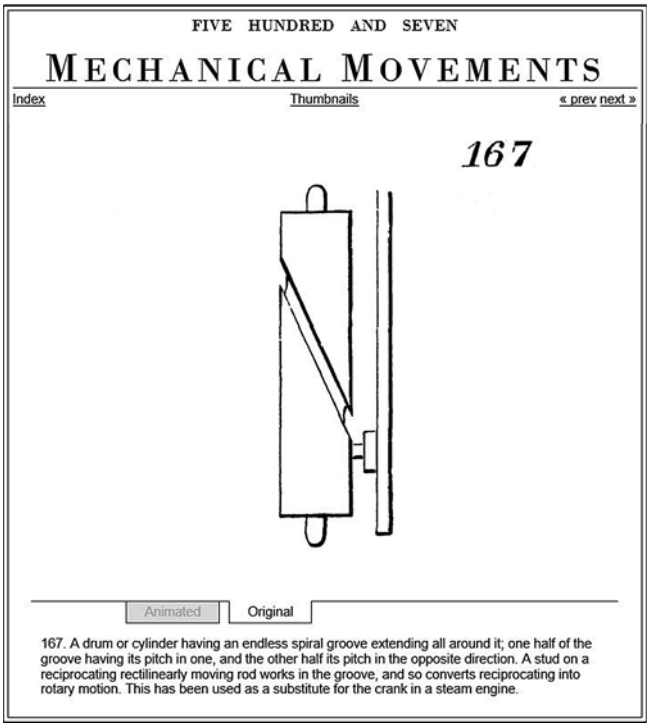

Рис. 1. Механизм № 167 из книги Генри Брауна

вий качественного протекания рабочего процесса, в свою очередь ограничивается допустимой величиной инерционных усилий. Все эти факторы служат достаточным основанием для ухода от поршневой схемы с кривошипно-шатунным механизмом в тепловых двигательных установках. Появляются новые конструктивные схемы — бесшатунная, аксиально-поршневая, орбитальная, сферическая, роторно-поршневая, роторно-лопастная. Но, несмотря на все недостатки, кривошипно-шатунный механизм остаётся самым распространённым с 1859 года, когда его использовал в первом двигателе внутреннего сгорания бельгийский изобретатель Жан Жозеф Этьен Ленуар.

Однако в XIX веке в США в тепловых двигателях использовался механизм с винтовой поверхностью. Так, в коллекции иллюстраций и описаний, содержащихся в книге Генри Т. Брауна "Пятьсот семь механических подвижных элементов" [2], есть элемент под номером 167 (рис. 1). Описывается он таким образом: "Барабан или цилиндр, имеющий бесконечный винтовой паз, распространяющийся вокруг него; одна половина паза имеет наклон в одном и другая его половина наклон в противоположном направлении. Штифт на штоке, совершающем возвратно-поступательное прямолинейное движение, перемещается в пазе и, таким образом, преобразует возвратно-поступательное во вращательное движение. Это было использовано как замена кривошипа в паровом двигателе".

Сейчас машины, содержащие механизм, преобразующий возвратно-поступательное движение входного звена в возвратно-поворотное движение выходного с помощью винтовой поверхности с углом подъёма больше 45°, применяются редко. Среди 4371 механизма, которые вошли в семитомный справочник академика И.И. Артоболевского "Механизмы в современной технике" [3], есть только пять таких механизмов: № 1686, № 2097, № 2148, № 2919, № 3103. Объясняется это конструктивными особенностями, определяющая из которых — протяжённость винтовой линии. Для того чтобы получить больший угол поворота, надо увеличивать длину винтовой поверхности. Если замкнуть винтовую поверхность, распространив её вокруг цилиндра, как это описывается для элемента № 167 в издании Генри Т. Брауна, то можно получить вращательное движение в одну сторону. В любом случае у подобных механизмов будет большой габарит.

Но для того, чтобы получить равномерный крутящий момент на выходном звене без одностороннего воздействия на него, и при этом использовать винтовую пару с углом подъёма более 45° в качестве механического усилителя, не обязательно использовать большую длину. Можно ограничиться лишь частью винтовой поверхности и при этом получить вращательное движение в одну сторону. Устройство и функционирование такого рода механизмов описано в патенте на изобретение RU 2389925 C2, прошедшее экспертизу в отделе транспортной техники ФГУ ФИПС. В их основе лежит инверсия функции входного и выходного звена в механизмах, предназначенных для преобразования вращательного движения в поступательное. Устройство внешне похоже на передачу винт—гайка качения, но с большим углом подъёма канавки, входное звено которого движется возвратно-поступательно, а выходное вращается в одну сторону, за счёт использования механизма одностороннего действия, например муфты свободного хода. В патенте приводятся варианты конструкций, где оба движения входного подвижного элемента являются рабочими и без использования муфт. Кстати, в первом двигателе Ленуара тоже применялся поршень двойного действия — рабочими ходами были и прямой и обратный.

Задачей изобретения являлось создание такого поворотного привода с любым двигателем, преобразующего возвратно-поступательное движение входного звена во вращательное движение выходного звена в одном направлении, который будет создавать вращающий момент без одностороннего воздействия на выходное звено, будет иметь небольшую массу и габариты. Сущность изобретения рассматривалась по отношению к приводам шаровых кранов магистральных трубопроводов, как технически наиболее сложным и требующим соблюдения ряда установленных параметров. Поэтому все варианты приводов содержат гидравлический или пневмогидравлический линейный двигатель. Обязательно используется демпферная жидкость, которая тормозит быстрое перемещение поршня под воздействием природного газа, находящегося под давлением 7,5 МПа. Такое значение давления соизмеримо с максимальным давлением газов в двигателях внутреннего сгорания 6—9 МПа. Современные газопроводы строятся на давление 16 МПа.

В описании используется новое понятие "цилиндрический клиновой механизм". Вращающий момент во всех вариантах приводов создаётся с помощью клинового механизма, свёрнутого вокруг оси поворота. В отличие от клинового механизма, звенья которого

образуют только поступательные пары, такой механизм содержит винтовую пару, которая даёт возможность преобразовывать поступательное движение во вращательное. Винтовая пара позволяет, так же как и клин, получать выигрыш в силе. Определение винтовой пары как "одноподвижная пара, допускающая винтовое движение одного звена относительно другого" [4] в равной степени относится и к самой распространённой, которая преобразовывает вращательное движение в поступательное, и к той, которая преобразует поступательное движение во вращательное. Чтобы акцентировать внимание именно на возможности преобразования поступательного движения во вращательное, авторы изобретения и ввели новое понятие — ЦКМ. У всех механизмов, которые используют такое преобразование, есть существенное достоинство — развиваемый крутящий момент является равномерным в функции времени при постоянной действующей силе и к тому же одностороннее воздействие на выходное звено не возникает. Следует отметить, что угол подъёма может быть непостоянным, т. е. винтовая рабочая поверхность будет выполнена по какому-то требуемому закону и, соответственно, развиваемый вращающий момент можно получить неравномерным в функции времени при постоянной действующей силе, если это нужно. Звенья в винтовой паре контактируют друг с другом непосредственно или через тела качения, или скольжения.

Цилиндрический клиновой механизм, осуществляющий преобразование поступательного движения входного звена в непрерывное вращательное, представляет определённый интерес для машиностроения. Авторы изобретения, а один из них и автор данной статьи, не ограничивают область применения данной конструкции только арматуростроением. В самом начале описания изобретения оговаривается: "изобретение относится к приводам, где требуется преобразовать возвратно-поступательное движение во вращательное движение в одном направлении, например, привод арматуры трубопроводов".

Поэтому возникает вопрос, а возможно ли применение этого механизма не только вместо кулисного, но и вместо кривошипно-шатунного? Особенно представляет интерес динамическое поведение данного механизма на высоких скоростях. Но поскольку исследований на данную тему не было и само изобретение является новым, то сначала необходимо экспериментально подтвердить работоспособность непосредственно винтовой пары с большим углом подъёма. Основной интерес в конструкции ЦКМ представляет именно винтовая пара с промежуточными телами качения — шариками, как самыми эффективными из-за меньшего трения, что отвечает современным тенденциям, так как интерес к передачам со свободными телами качения растёт [5].

Для экспериментов была создана упрощённая модель, от которой требовалась основная функция привода — поворот выходного звена под нагрузкой. В данной статье описание конструкции испытательной установки не приводится. Поворот осуществлялся не в одну сторону, а был возвратным — против часовой при движении входного звена вниз и по часовой при обратном ходе. При передаче большого вращающего момента возникают значительные контактные напряжения, сближение контактирующих тел может быть недопустимо большим. От этих параметров зависит допускаемая нормальная сила в контакте. Именно поведение механизма при больших нагрузках было предметом первых исследований. В экспериментальной установке имитировалась работа ЦКМ с телами качения, но с преобладанием скольжения. То есть шарики заведомо могли проскальзывать по канавке. Для теоретической оценки возможностей механизма основные параметры модели составляли: диаметр окружности расположения шаров D_{pw} = 50 мм; диаметр шаров D_w = 7,94 мм; профиль канавки образцов — трапецеидальный и арочный; твёрдость образцов разная; материалы — конструкционная и пружинная сталь; угол подъёма винтовых канавок — 62,25, 70 и 80°; число шаров в одной канавке z = 2; количество рабочих ка-

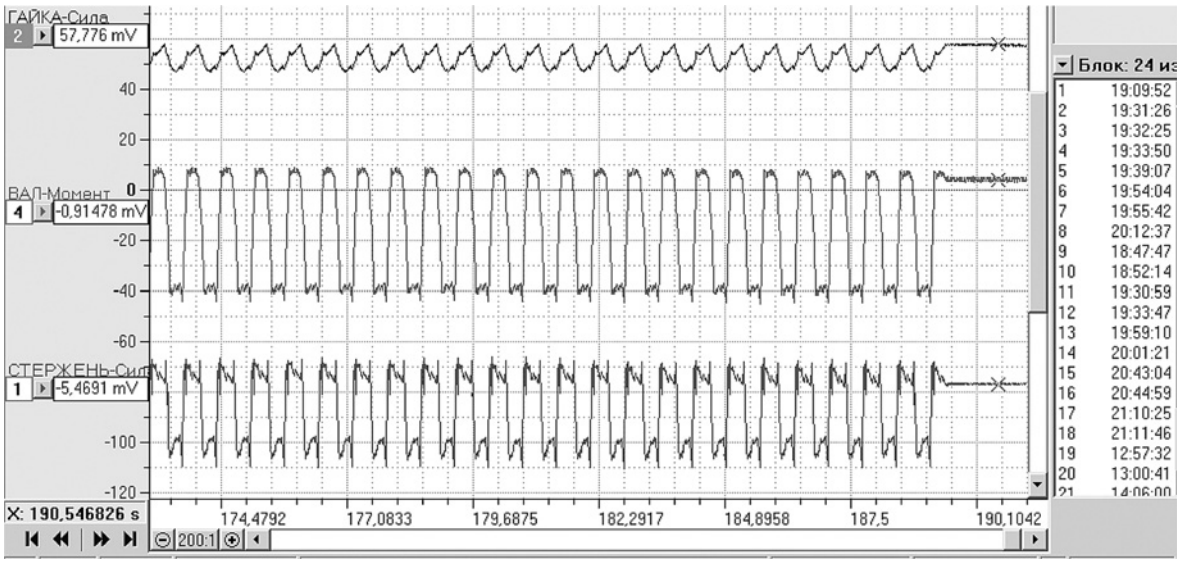

Рис. 2. Пример осциллограмм сил и момента

Угол подъёма канавки, ψ°	Профиль канавки					
	Трапецеидальный			Арочный		
	Механизм с образцом №	Допускаемое контактное напряжение, МПа	Удельный момент, Нм/кг	Механизм с образцом №	Допускаемое контактное напряжение, МПа	Удельный момент, Нм/кг
62,25	5	2445	1,1	2	3540	1,82
	3	4680	7,92	24	4610	54,67
	21	10 095	82,25	25	10 095	180,30
70	8	2235	0,94	26	3500	7,58
	7	4630	8,32	15	5345	24,17
	22	9815	76,68	27	9815	175,72
80	9	3900	4,98	28	4750	19,58
	11	4785	2,23	13	4665	18,09
	23	10 095	86,05	29	10 095	190,53

навок выходного звена $i = 3$. Данные с тензометрических датчиков измерялись с помощью лицензионной крейтовой системы LTR 212-U-1 и обрабатывались с помощью программы *"Power Graph Professional"*. Пример полученных экспериментальных осциллограмм показан на рис. 2: вертикальные участки соответствуют переходному времени на изменение направления движения входного звена — стержня; верхние и нижние горизонтальные участки — соответственно рабочие ходы вверх и вниз.

По четвёртой теории прочности для точечного контакта допускаемое контактное напряжение принималось $\sigma_{HP} = 5\sigma_{0,2}$ МПа. Нагружение механизма осуществлялось так, чтобы максимальные контактные напряжения превышали допускаемое напряжение $5\sigma_{0,2}$ и вызывали пластическую деформацию. Это было сделано для того, чтобы выявить, во-первых, работоспособность механизма при пластических деформациях и, во-вторых, определить коэффициент неравномерности распределения нагрузки между канавками. Исследование показало, что работоспособность сохраняется при пластических деформациях. Ограничением служит выход пятна контакта за пределы наружного диаметра образца (рис. 3).

Ещё одним показателем механизма служит удельный момент — выходной момент, приходящийся на единицу массы. Считаем массу механизма суммой масс входного и выходного звеньев, вала, подшипников. Это составит 4,5 килограмма. Удельные моменты для механизмов с различными профилями канавок существенно различаются. В таблице показаны данные по удельному моменту для механизмов с разными образцами (при $D_{pw} = 50$ мм, $D_w = 7{,}94$ мм, $i = 3$, $z = 2$). Для сравнения, удельный момент кривошипно-шатунного механизма с одной зубчатой передачей двигателя внутреннего сгорания с выходным моментом 75 Н · м составляет (масса примерно 14 кг с учётом масс коленчатого вала и одной зубчатой передачи) порядка 5,4 Н · м/кг. Из полученных данных видно, что этот показатель можно легко увеличить, используя ЦКМ. Угол подъёма винтовых канавок экспериментальных образцов одинаковый, следовательно, при постоянной действующей силе, это даёт равномерный вращающий момент. Увеличением числа канавок и числа шариков в них можно распределить осевую нагрузку.

Рис. 3. Образец после испытаний

Таким образом, желаемый удельный момент можно получить правильным подбором параметров, тщательным расчётом и конструированием цилиндрического клинового механизма, исследования которого только начались. Уже сейчас можно сделать вывод, что для получения большого крутящего момента не потребуется значительная скорость перемещения входного звена, как в кривошипно-шатунном механизме. Но, безусловно, применение этого механизма вместо кривошипно-шатунного в конкретных машинах требует отдельного исследования и обоснования. А это возможно только силами профильной организации.

Литература

1. Колчин А.И. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: Учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. — 4-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2008. — 496 с.
2. Henry T. Brown. Five Hundred and Seven Mechanical Movements [Electronic resource]. — URL: http://507movements.com/mm_167.html.
3. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике [Текст]: Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. В 7 т. / Научные редакторы Н.В. Сперанский, Б.Н. Скляднев — Изд. 2-е, переработанное. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 7 т.
4. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам [Текст] / А.Ф. Крайнев. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1987. — 560 с.
5. Передачи со свободными телами качения, обзор патентной литературы. [Текст] / В.В. Столовской, Т.А. Ремнева, С.М. Казакявичюс // Прогрессивные зубчатые передачи: Сборник трудов, посвящённый 70-летию профессора А.Е. Беляева. — Новоуральск: НГТИ, 2003. — С. 61—95.

УДК 656.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАПРАВЛЯЕМОГО ТРАНСПОРТА В НЕДОСТРОЕННЫХ МЕТРОПОЛИТЕНАХ

Д-ра техн. наук **САФРОНОВ Э.А., САФРОНОВ К.Э.;**
канд. техн. наук **КНЯЗЕВ И.М.**
СибАДИ (8.3812. 65-03-22)

Предлагается использовать направляемый с помощью роликов и колеи подвижной состав для городских пассажирских перевозок в тоннелях и по обычным дорогам.

Ключевые слова: *метро; направляемый транспорт; тоннель; перегон; легкорельсовый транспорт, мобильность; доступность; безопасность.*

Safronov E.A., Safronov K.E., Knyazev I.M.

USE OF DIRECTED TRANSPORT IN UNDISSIBLE METROPOLITENES IN THE CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

It is proposed to use rolling stock guided by rollers and ruts for urban passenger traffic in tunnels and on ordinary roads.

Keywords: *underground; guided transport; tunnel; distilled; light rail, mobility; availability; security.*

Организацией Объединённых Наций ставятся задачи к 2030 году обеспечить всех жителей больших городов безопасными, недорогими, доступными и экологичными транспортными системами, на основе использования доступного и безопасного общественного транспорта [1].

Современные исследования подтверждают гипотезу о том, что улучшение безопасности дорожного движения может быть достигнуто именно за счёт государственной поддержки общественного пассажирского транспорта [2] при условии, что пассажиры откажутся от использования легковых автомобилей.

В настоящий момент доля поездок на общественном транспорте на душу населения в сутки в США составляет 2 %, в Австрии (17 %), Швеции (14 %), Германии (12 %), Великобритании (10 %), Норвегии (10 %), Франции (8 %), Финляндии (8 %) и Швейцарии (24 %) [3]. Низкий пассажиропоток общественного транспорта в Соединенных Штатах объясняется более низкой плотностью населения, которую трудно эффективно обслуживать общественным транспортом [4]. Лёгкая доступность автомобилей и низкая стоимость их владением затрудняют конкуренцию общественному транспорту [5]. Кроме того, удобное транспортное сообщение с бесплатной парковкой делает вождение очень привлекательным и дешёвым [6]. В европейских же странах ситуация с плотностью населения несколько иная, общественный транспорт здесь сохранил свою важную роль в обеспечении мобильности. Однако правительствам придётся сделать общественный транспорт ещё более привлекательным, чтобы эффективно конкурировать с автомобилями. Системы общественного электрического рельсового транспорта способствуют увеличению мобильности населения, снижению воздействия на окружающую среду и образ жизни людей. При этом во всём мире рельсовые системы более привлекательны для пассажиров, чем автобусы [7].

Во времена СССР считалось, что каждый город с населением больше миллиона жителей должен иметь свой метрополитен. Заветного рубежа достигли 13 городов, расположенных на территории РСФСР, но лишь 6 из них обзавелись метрополитеном. Надо сказать, метрополитен в крупнейших городах играл двойную роль: при проектировании подземных метрополитенов учитывалась возможность их использования в качестве бомбоубежища для населения. Для этого предусматривалось оборудование станций и перегонов аварийными автономными системами фильтровентиляции, энерго- и водоснабжения, запасными выходами, системами герметизации станций и вентиляционных шахт. То есть строительство таких объектов получалось весьма дорогим и для региональных центров финансово невозможным. В настоящее время метрополитен имеют следующие российские города: Москва (с 1935 года), Санкт-Петербург (1955), Нижний Новгород (1985), Новосибирск (1986), Самара (1987), Екатеринбург (1991), Казань (2005). В Волгограде вместо метрополитена сооружён скоростной трамвай.

В 1992 году строительство метро началось в Челябинске: были построены две станции и часть перегонных тоннелей, рассматриваются варианты объединения строящихся тоннелей первого участка метро и инфраструктуры челябинского трамвая. Красноярский метрополитен начал строиться в 1995 году, за это время были построены 3,5 км тоннелей и притоннельные сооружения. В Перми и Ростове строительство даже не началось. В Уфе в качестве альтернативы пущена городская электричка "Толпар".

Попытки активизировать строительство метрополитенов предпринимались неоднократно, и в Омске в том числе. Предлагались новые подходы к удешевлению и ускорению строительства метро за счёт удаления из проектов мероприятий по гражданской обороне, выхода метрополитена на поверхность (лёгкое метро), соединения метро с действующими трамвайными линиями. Однако инертность нормативной базы и экономические проблемы не позволили реализовать эти планы.

Омский метрополитен строился в 1995—2014 годах, после чего строительство было заморожено. Решается вопрос о дальнейшей судьбе недостроенных станций, тоннелей и метромоста. Вариантов несколько. Достра-

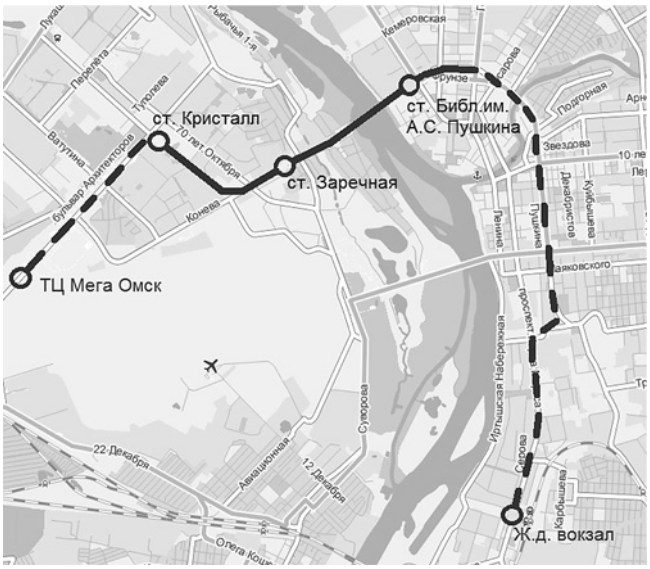

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

ивать метрополитен по первоначальному проекту подземного заложения у региона, даже с помощью федерального центра, возможности нет. Среди вариантов развития транспортной системы Омска на базе недостроенной инфраструктуры метро перспективными можно считать следующие:

1. *Легкорельсовый транспорт* (ЛРТ) — городской железнодорожный общественный транспорт, характеризующийся меньшими, чем у метрополитена и железной дороги, габаритами, грузоподъёмностью и скоростью сообщения. Разновидностями легкорельсового транспорта являются трамвай, скоростной трамвай (в том числе подземный) и городская железная дорога. Данный вид транспорта получил широкое распространение за рубежом: за последние 15 лет в мире построено порядка 80 систем ЛРТ и ещё около 100 систем ЛРТ в данный момент находятся на различных стадиях проектирования и строительства [8].

2. *Направляемый автобус* — вид общественного транспорта, при котором транспортное средство (автобус, троллейбус, дуобус) автоматически удерживается на траектории своего движения по маршруту специальными направляющими.

ЛРТ обладает самой высокой провозной способностью после метро и низкой себестоимостью перевозок. Однако требует больших затрат на строительство пути и подвижной состав. При реализации проекта на маршруте "Ж/д вокзал — ул. Рокоссовского" с максимальным использованием объектов недостроенного метро затраты составят не менее 15 млрд руб. а срок строительства 3—4 года (рис. 1, пунктиром показаны наземные участки, сплошная — тунель). В 2014 году в Омске прошёл общественное обсуждение проект развития ЛРТ, разработанный агентством Городские проекты при участии профессора В. Вучика (США). Сооружение первой очереди, протяжённостью 20 км, предусматривало совмещение построенной ветки метро и наземных трамвайных путей. Вся сеть ЛРТ соединила бы в себе 80 км трамвайных путей и перегонов метро с общей стоимостью 30 млрд руб., что сопоставимо с бюджетом Омска за два года.

Транспортная система с направляемым автобусом впервые была разработана в Германии и представлена в 1979 году на Международной транспортной выставке в Гамбурге [9]. Система работала в Эссене до 1998 года. Модели компании "Мерседес-Бенц" с гибридной электрической и дизельной силовой установкой ("Шпрубус") могли в пригороде передвигаться как автобусы, а в городе подключаться к контактной сети и ехать как троллейбусы. За основу был взят стандартный сочленённый автобус с ведущим третьим (в прицепной секции) мостом. Передняя ось оснащалась выступающими на 50 мм за габаритную ширину роликами, соединёнными с рулевым управлением. Эти ролики во время движения по специально проложенной на выделенной полосе, трамвайных путях или в тоннеле колее упираются в её низкие вертикальные стенки и "направляют" машину по заданному курсу (рис. 2, 3). Ещё две пары роликов неподвижно закреплены у двух других мостов и прочно удерживают Шпрубус в колее. Машины имели системы автомати-

Рис. 4

ческого подключения к контактной сети и предотвращения столкновения. Всё это обеспечивает возможность безаварийной эксплуатации автобусов в тоннелях узкого габарита.

В настоящее время направляемый автобус активно эксплуатируется в Великобритании (Эдинбург с 2004 года, Брэдфорд с 2001 года, Лидс с 1995 года, Испвич с 1995 года, Кроули с 2003 года), развивается во Франции, Китае, а самая длинная трасса (12 км) работает в австралийской Аделаиде (рис. 4). Практика показывает, что данный вид транспорта обеспечивает доступность, безопасность и эффективность при работе в разных климатических условиях.

Огромное преимущество направляемого автобуса состоит в возможности его движения за пределами оборудованной полосы как обычного автобуса по городским маршрутам. Это позволяет интегрировать построенные участки тоннелей (в Омске это 7,5 км перегонов, одна законченная станция и две недостроенные) в существующую маршрутную сеть. Современный городской автобус на 150 мм уже и на 700 мм ниже вагона метро, что позволяет без проблем разместить его на полосах движения и в тоннелях метро. По сравнению с ЛРТ затраты на подвижной состав и строительство путей для Омска могут значительно снизиться, а стоимость реализации проекта на рассматриваемом маршруте уменьшится в 5 раз и составит 3,0 млрд руб. При этом срок реализации проекта сократится до 2—2,5 лет.

Разновидностью данной системы является направляемый троллейбус и дуобус (троллейбус с дизельным двигателем). Этот вид транспорта по сравнению с направляемым автобусом более экологичен и при прокладке маршрутов в тоннелях не потребует устройства специальной вентиляции. Габариты тоннеля метро позволяют расположить полосу движения троллейбуса и разместить контактную сеть (рис. 5). Однако строительство контактной сети приведёт к удорожанию проекта до 4,0 млрд руб. и увеличению срока строительства до 3 лет.

Между тем уже созданы и работают в Москве экспериментальные модели отечественных электробусов. В частности, КамАЗ-6282 с литий-титанатными аккумуляторными батареями суммарной энергоёмкостью 70,4 кВт · ч. В планах предприятия увеличение ресурса автономной езды без подзарядки, что позволит использовать их более продолжительное время и в частности в тоннелях, где использование автобусов с дизельными двигателями представляет определённые экологические риски. Если обеспечить такие модели направляющими роликами и устроить полосы для движения в тоннелях из сборных железобетонных конструкций, то можно в короткий срок пустить новый вид транспорта в городах с недостроенным метро. Омск может стать пилотным полигоном.

Проблема пропуска автомобильного движения возникла также при строительстве тоннеля под Ла-Маншем, протяжённость которого составила 51 км, из которых 39 проходят непосредственно под проливом. Из Парижа до Лондона благодаря тоннелю можно добраться за 2 ч 15 мин. Автомобильный транспорт преодолевает тоннель в вагонах специальных электропоездов за 25 мин., водители и пассажиры при этом своих мест не покидают.

Следует учесть, что несовершенство транспортной инфраструктуры в стране приводит к большим экономическим потерям. Так, например, транспортная составляющая в себестоимости продукции в РФ в среднем составляет 25 %, в ФРГ — 7 %. Скорость доставки грузов в РФ составляет 5 км/ч, в ФРГ — 25 км/ч. Мобильность населения у нас в 3 раза ниже, чем в Европе. Отсюда производительность труда и удельный ВВП в 4—5 раз ниже, чем в странах ЕС.

Крупные города РФ в настоящее время оказались не готовы к наплыву индивидуального транспорта. Муниципальные транспортные предприятия стали неконкурентоспособными и уступили ведущую роль частному бизнесу, который отказался инвестировать средства в объекты инфраструктуры. Во многих городах образовался долгострой в этой сфере. Рассчитанные по старым нормативам крупные объекты транспортной инфраструктуры не вписались в современный облик городов по архитектурным, техническим и

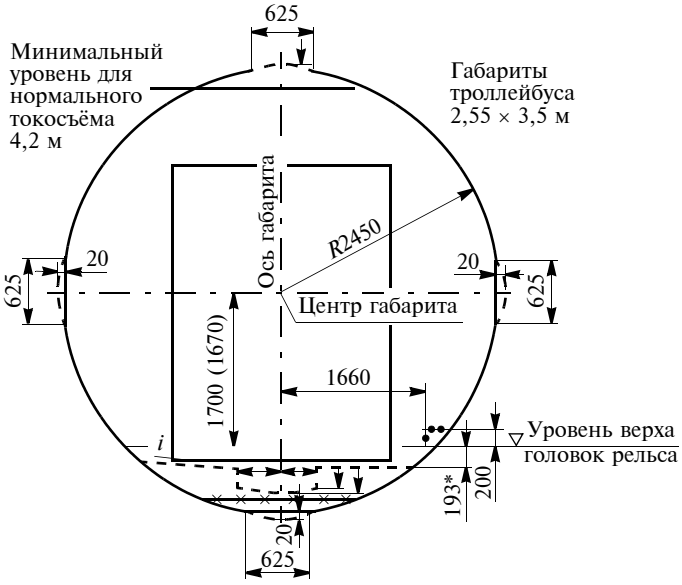

Рис. 5

финансовым параметрам. Проблему можно решить путём использования инновационных видов транспорта и транспортных сооружений, прошедших многолетнюю проверку за рубежом. Такие системы позволяют решить транспортную проблему застроенного центра города и связать его с пригородом. Например, в Кельне 50 км линий ЛРТ проходят под центром города, остальные 150 км на поверхности.

В СибАДИ уже проводятся экспериментальные работы по конструированию направляемого устройства для автобусов в наших климатических условиях. Успешной реализации проектов по использованию созданной в советский период инфраструктуры может способствовать целевая программа, так как ситуация с перегрузкой мегаполисов индивидуальным транспортом становится критической. В пробках экономика теряет огромные людские и финансовые ресурсы. Огромные капиталовложения не дают отдачи и, хуже того, требуют дополнительных расходов на их содержание и консервацию.

Литература

1. Improving global road safety. Resolution adopted by the General Assembly on 12 April 2018. — No 72/271. — URL: https://undocs.org/en/A/RES/72/271.
2. Miloš, Poliak et. al. Financing Public Transport Services From Public Funds. Transport Problems. — 2017. — Volume 12. — Issue 4.
3. Buehler R. Can Public Transportation Compete with Automated and Connected Cars? / Journal of Public Transportation. — 2018. — Vol. 21. — No. 1. P. 7—18.
4. Vuchic V. Urban Transit: Operations, Planning, and Economics. Hoboken, NJ: Wiley & Sons. — 2005.
5. Newman P. and J. Kenworthy. Peak Car Use: Understanding the Demise of Automobile Dependence. World Transport Policy and Practice. — 2011. — No. 17(2). P. 31—42.
6. Shoup D. The High Cost of Free Parking. Chicago: Planners Press, American Planning Association. — 2011.
7. Frank Lander. RAIL VS. O-BAHN. — Rail 2000. — 7 October 2000. — URL: http://www.ppt.asn.au/pubdocs/flander.pdf.
8. Буслов А.С. Перспективы развития легкорельсового транспорта в Воронеже // Сборник тезисов международной научной конференции "Стратегии и ресурсы развития крупных городов центра России". — Воронеж: ВГУ, 2008.
9. Автобусы 80-х // За рулём. — 1980. — № 8. — С. 24.

УДК 629.1

ИСПАРИТЕЛЬНО-ВИХРЕВОЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ КОНДИЦИОНЕР

Д.т.н. **КУРНОСОВ Н.Е.**, к.т.н. **ЛЕБЕДИНСКИЙ К.В., НИКОЛОТОВ А.А., АЛЕКСЕЕВ Д.П.**
Пензенский ГУ (8412.368071)

Представлен кондиционер испарительно-вихревого типа. Рассмотрены принцип работы и преимущества данной климатической техники. Описаны проведённые испытания установленного кондиционера на автомобиль ВАЗ-21214, показаны результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *кондиционер, испарительный, вихревой, автомобиль, испытания.*

Kurnosov N.E., Lebedinskiy K.V., Nikolotov A.A., Alekseev D.P.

CAR AIR CONDITIONER EVAPORATIVE-VORTEX TYPE

The conditioner is of evaporative-vortex type. The principle of operation and the advantages of this climate technology are considered. The tests carried out on the installed air conditioner VAZ-21214 are described, the results of experimental studies are shown.

Keywords: *air conditioning, evaporative, vortex, car, testing*

Комфортный микроклимат для водителя и пассажиров транспортных средств в последнее время перестал считаться лишь элементом удобства и стал важным фактором безопасности, а кондиционеры перестали быть роскошью и превратились в штатное оборудование современных автомобилей. Особенно важно эффективное функционирование системы климат-контроля на транспортных средствах, работающих в условиях высоких температур окружающей среды, при воздействии вибрации и ударных нагрузок и на объектах с особыми условиями работы [1]. Однако парк таких машин обновляется небыстро, и в эксплуатации надолго ещё останутся АТС без штатных кондиционеров.

Решением задачи обеспечения климатических условий на транспортных средствах может служить конструкция испарительно-вихревого кондиционера [2], который достаточно просто установить в изготовленные ранее транспортные средства. Принцип работы такого кондиционера показан на рис. 1.

Кондиционирование воздуха разделено на два процесса: охлаждение за счёт использования эффекта Ранка—Хилша и дополнительное охлаждение за счёт эндотермического испарения ультрадиспергированной жидкости, что позволяет за счёт уменьшения объёма воздуха в каждом из них и интенсификации теплообменных процессов повысить эффективность процесса охлаждения в целом. Состоит кондиционер соответственно из двух блоков — испарительного и вихревого. Испарительный блок позволяет обеспечить снижение температуры большого объёма воздуха на 5...10 °С при минимальных энергозатратах, а вихревой — высокую степень охлаждения — на 15...20 °С.

В зависимости от требуемых параметров воздуха могут быть использованы режимы кондиционирования, обеспечивающих высокую эффективность и минимальные энергозатраты. За счёт совмещения охлаждающих испарительного и вихревого эффектов в работе

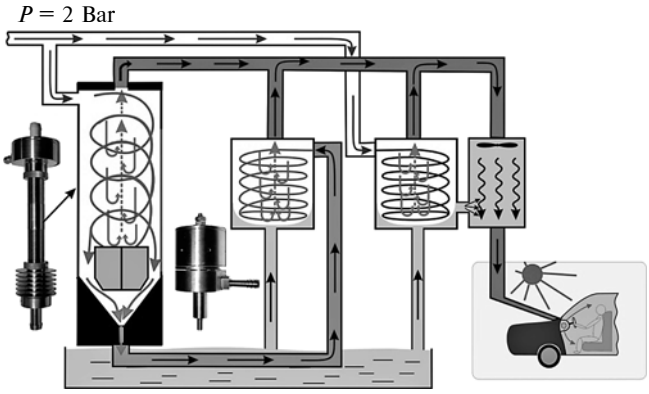

Рис. 1. Схема испарительно-вихревого кондиционера

Рис. 2. Подкапотное пространство с установленными элементами системы

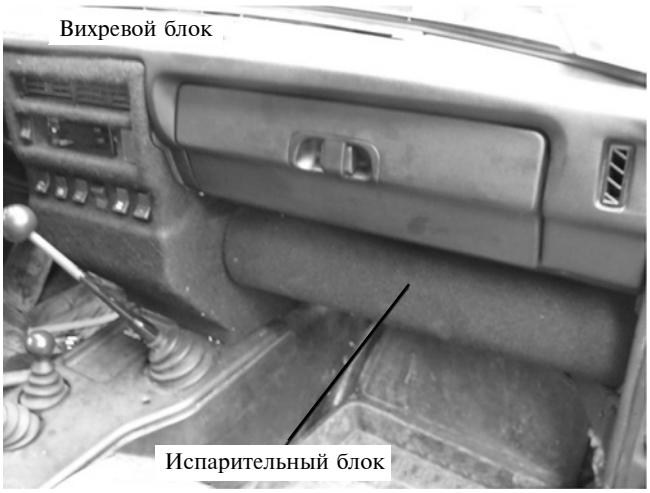

Рис. 3. Места установки испарительного и вихревого блоков в салоне автомобиля ВАЗ-21214

кондиционера получены значительные преимущества разработанной климатической установки: высокая эффективность охлаждения кондиционируемого воздуха, что обеспечивается двухстадийным интенсивным охлаждением его за счёт эффекта Ранка—Хилша в вихревой трубе и за счёт интенсификации эндотермических испарительных процессов жидкости в вихревых потоках воздуха и жидкости; низкие энергетические затраты на процесс кондиционирования, что обеспечивается использованием только кинетической энергии сжатого воздуха без привлечения других видов энергии (высокая энергоэффективность по сравнению с существующими парокомпрессионными, термоэлектрическими, испарительными и вихревыми кондиционерами); абсолютная экологическая безопасность (так как в работе используются только воздух и вода); возможность эффективной работы при высокой температуре наружного воздуха (за счёт отсутствия внешнего теплообменного блока); высокая надёжность при эксплуатации в дорожных или полевых, а также в особых условиях эксплуатации (благодаря простоте конструкции и отсутствию движущихся частей холодильного агрегата); совмещение в одном устройстве кондиционера, увлажнителя, ионизатора с притоком свежего очищенного воздуха и с управлением режимами работы (с/без: увлажнением, ионизацией, рециркуляцией); использование в составе кондиционера ионизатора воздуха, основанного на работе в составе вихревой трубы без привлечения дополнительной энергии и без использования электроразряда [3]; простота конструкции, небольшие габариты, масса, низкая себестоимость.

Для проверки принципиальной возможности создания нового климатического оборудования испарительно-вихревого типа за счёт разработанного инновационного подхода к способу получения холода осуществлена опытная установка прототипа кондиционера на автомобиль ВАЗ-21214 "Нива". Требовалось установить дополнительные элементы в подкапотное пространство автомобиля — шкив для привода воздушного компрессора, воздушные компрессоры с фильтрами для питания воздухом вихревого блока и испарительного блока (рис. 2). Использовались два типа воздушных компрессоров: поршневой и винтовой. В таблице даны технические характеристики используемых воздушных компрессоров. В салоне автомобиля были непосредственно размещены испарительный и вихревой блоки (рис. 3).

В процессе работы испарительного блока для распыления жидкости использовался воздушный поршневой компрессор и штатный вентилятор с объёмом подаваемого воздуха около 1000 м^3/ч. Воздух, подаваемый штатным вентилятором, закручивался и проходил через испарительный блок [4], где непрерывно распылялась вода в виде ультрадисперсионного тумана вихревым пневматическим распылителем, работающим от поршневого компрессора. За счёт интенсивного массообмена происходило испарение жидкости и соответственно охлаждение воздуха. При работе вихревого блока использовался только воздух, подаваемый из воздушного винтового компрессора. От него воздух подавался в вихревой блок, представляющий из себя вихревую трубу соединённую горячим концом с вихревым испарителем [5]. Холодный воздух из вихревой трубы, смешиваясь с охлажденным воздухом из испарителя, направлялся в салон автомобиля.

Для оценки эффективности работы кондиционера были проведены экспериментальные исследования охлаждающей способности вихревого и испарительного блоков. Первоначальный этап исследований предполагал оценку эффективности работы кондиционера в стационарных условиях. В целях обеспечить воспроизводимость результатов испытания проводились в изолированном боксе, оборудованном устройствами поддержания постоянной температуры и влажности.

Компрессор	Расход воздуха, л/мин	Давление, МПа	Потребляемая мощность, кВт/ч
Винтовой E310-200	320	0,2	3
Поршневой YJ62-30	10	1,5	0,2

Изменения температуры и влажности в салоне автомобиля фиксировались с помощью шести датчиков: четыре контактных датчика температуры и два датчика влажности. Размещены они в следующих точках: датчик температуры *1* на входе в коробку воздухопритока; датчик температуры *2* в непосредственной близости от центрального сопла системы вентиляции; датчик температуры *3* на уровне головы водителя; датчик температуры *4* на крыше автомобиля; датчик влажности *1* на уровне головы водителя; датчик влажности *2* на крыше автомобиля. Сигналы, поступающие с датчиков, собирались и обрабатывались с помощью аналого-цифрового преобразователя и выводились в виде графиков и в виде синхронизированного массива данных с частотой сбора данных 1 Гц.

Перед проведением испытаний температура в боксе стабилизировалась на уровне 30—32 °С при влажности не менее 45 %.

Проводились испытания в двух режимах работы кондиционера: испарительного охлаждения и вихревого охлаждения. Первый режим предназначен для быстрого охлаждения салона автомобиля и повыше-

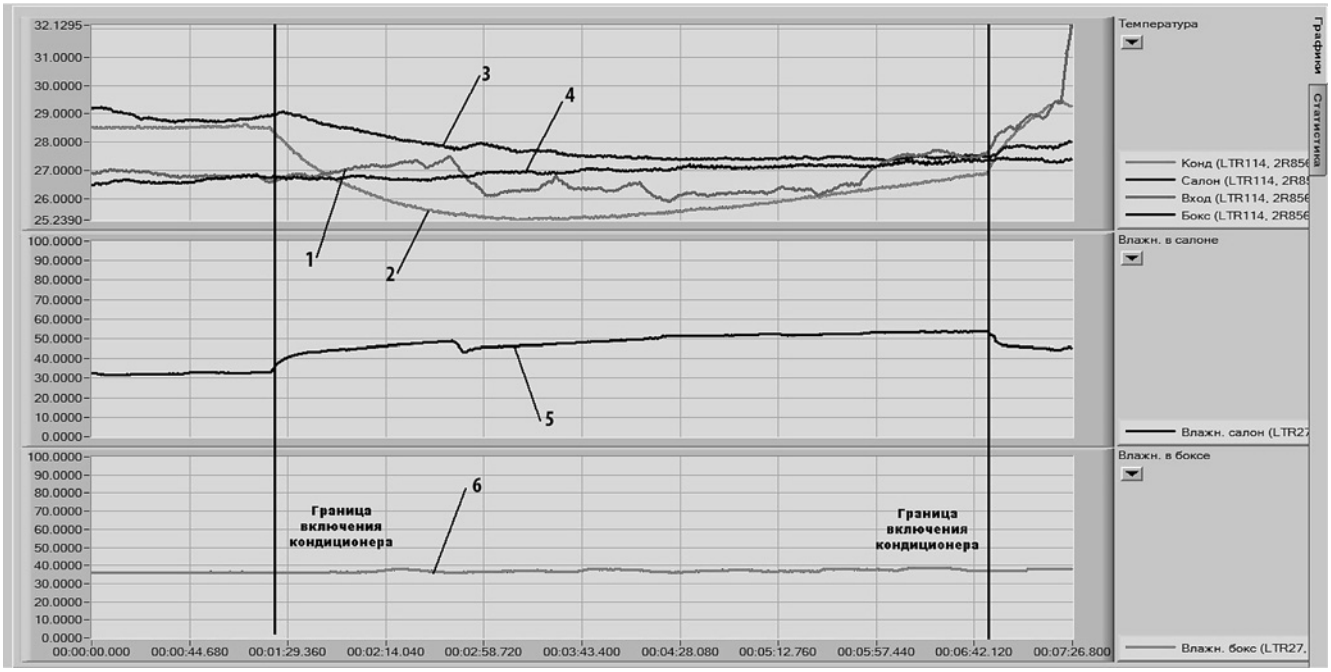

Рис. 4. Усреднённые значения температуры и влажности в салоне автомобиля при работе испарительного блока:

1 — значения температуры на датчике температуры 1; *2* — значения температуры на датчике температуры 2; *3* — значения температуры на датчике температуры 3; *4* — значения температуры на датчике температуры 4; *5* — значения влажности на датчике влажности 1; *6* — значения влажности на датчике влажности 2

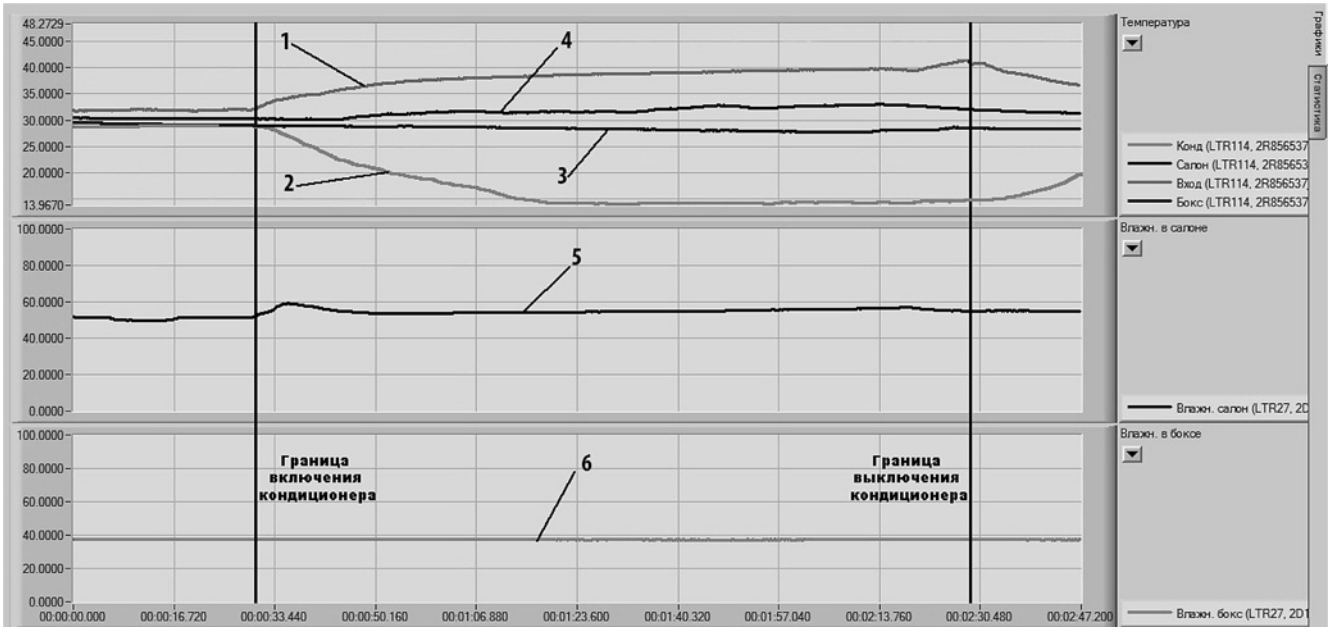

Рис. 5. Усреднённые значения температуры и влажности в салоне автомобиля при работе вихревого блока

ния влажности воздуха до комфортных значений, после чего включается второй режим, обеспечивающий поддержание оптимальной температуры воздуха без дальнейшего увеличения влажности.

Испытания испарительного блока показали, что после его включения в течение 1,5 мин происходит снижение температуры поступающего в салон воздуха с начальных 28,5 до 25 °С, при этом влажность в салоне автомобиля увеличилась с 31 до 51 %. Полученные результаты (рис. 4) показывают, что испарительный принцип охлаждения позволяет за короткий промежуток времени снизить температуру в салоне автомобиля при увеличении влажности.

После снижения температуры и повышения влажности от работы испарительного блока, включался вихревой блок, необходимый для дальнейшего снижения уровня температуры в салоне автомобиля без повышения влажности. Результаты испытаний на этом режиме представлены на рис. 5. На графиках видно, что температура поступающего в салон воздуха в течение минуты снижается с 30 до 14 °С и продолжает оставаться на данном уровне вплоть до выключения кондиционера. При этом влажность воздуха в салоне автомобиля остаётся постоянной.

Испытания подтвердили работоспособность концепции совмещения испарительного и вихревого принципов кондиционирования воздуха в салоне автомобиля, но для обеспечения комфортных параметров воздуха необходимо варьировать интервалы работы испарительного и вихревого блоков в зависимости от параметров внешней среды. Разработанный кондиционер в целом, способ (схема) и устройство не имеет аналогов, как в России, так и за рубежом, а отдельные узлы, имеющие аналоги, превосходят их по техническим характеристикам, что может быть использовано в отечественной автоиндустрии для успешного импортозамещения и инновационных прорывных проектов. Возможности данной климатической системы рекомендуется использовать в особых условиях, где применение существующего климатического оборудования ранее было невозможно.

Литература

1. Лях Г.Д. Кондиционирование воздуха в кабинах транспортных средств и кранов / Г.Д. Лях, В.И. Смола. М.: Металлургия. 1982. 128 с.
2. Патент RU 2 579 722. МПК F24F 5/00. Кондиционер. Курносов Н.Е., Иноземцев Д.С. Заявка: 2013158075/12, 20.12.2011. Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10.
3. Патент RU 2 576 513. МПК A61L 9/22. Способ ионизации воздуха и устройство для его осуществления. Курносов Н.Е., Иноземцев Д.С. Заявка: 2013158077/15, 08.07.2011. Опубликовано: 10.03.2016 Бюл. № 7.
4. Патент RU 2 579 724. МПК F24F 6/12. Способ и устройство для тепловлажностной обработки воздуха. Курносов Н.Е., Иноземцев Д.С. Заявка: 2013158076/12, 08.07.2011. Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10.
5. Патент RU 2 579 084. МПК B01D 3/00. Способ контактного взаимодействия газа и жидкости и устройство для его осуществления. Курносов Н.Е., Иноземцев Д.С. Заявка: 2013158078/05, 08.07.2011. Опубликовано: 27.03.2016 Бюл. № 9.

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 534.6:629.113

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЁДЕЛ КЛАПАНОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Д-р техн. наук **ЛЕБЕДЕВ А.Е.**,
канд. техн. наук **ПАВЛОВ А.А., ЛЕБЕДЕВ Д.В., ВАТАГИН А.А.**
Ярославский ГТУ (lae4444@mail.ru)

Рассматривается способ восстановления одних из наиболее ответственных элементов головки — сёдел клапанов методом электродуговой наплавки.

Ключевые слова: *двигатель, наплавка, седло, клапан, головка блока, никель.*

Lebedev A.E., Pavlov A.A., Lebedev D.V., Vatagin A.A.
METHOD OF PRODUCING SUCKS OF VALVES WHEN RECOVERED BY METHOD OF ELECTRIC RAW MATERIAL

The article considers the method of restoration of one of the most important elements of the head valve seat by electric arc welding.

Keywords: *engine, surfacing, saddle, valve, blockhead, nickel.*

Головка цилиндров — наиболее сложная по конструкции и самая нагруженная в тепловом отношении деталь двигателя, причём нагруженная очень неравномерно и к тому же не имеющая возможности свободного теплового расширения. Наиболее опасные эксплуатационные дефекты головок цилиндров возникают в зоне расположения клапанов. Это трещины на внутренней поверхности сёдел клапанов, интенсивный износ рабочей поверхности, разрушение и выпадение запрессованных сёдел из гнезда головки. В настоящее время данные проблемы решают путём растачивания и установки седла большего размера. Это приводит к уменьшению размера межклапанной перемычки — наиболее нагруженной зоной головки цилиндров [1, 2].

Авторами предлагается новый способ формирования седла клапанов чугунных головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания при их изготовлении или восстановлении методом электродуговой наплавки с нанесением подслоя никеля в среде сварочного газа [3].

Первый этап — подготовка головки цилиндра *1* (рис. 1) к наплавке путём выпрессовки сёдел *2*, очистки, расточки посадочных поверхностей сёдел клапанов и зачистки прилегающих к сёдлам клапанов поверхностей металлической щёткой до металлического блеска. Затем выполняется наплавка подслоя никеля в соответствии с рис. 2.

Как известно, плохая технологическая свариваемость серого чугуна приводит к появлению дефекта — отбеливания, т. е. появление участков с выделениями цементита в той или иной форме. Высокая твёрдость отбеленных участков практически лишает возможности обрабатывать чугуны режущим инструментом. Наплавка же подслоя никеля устраняет образование данных участков. Она производится короткой дугой на токе прямой полярности в среде сварочного газа с проковкой каждого валика-шва со скоростью, не позволяющей металлу остыть, лёгкими ударами металлического молотка. Расходные материалы — проволока сварочная ПАНЧ, в состав которой входят: Cu — 2,3—3 %, Mn — 5—6 %, Fe — до 2 %, Ni — остальное. Примеси не более: Si — 0,3 %, C — 0,3 %, газ сварочный (Ar 80 %, CO_2 20 %).

После наплавки посадочные поверхности сёдел клапанов необходимо расточить (рис. 3). Далее осуществляется наплавка рабочей поверхности седла клапана жаропрочной аустенитной сталью, плавящимся электродом (выбор наплавочного материала обусловлен уникальным сочетанием свойств: высокой пластичности, прочности, коррозионной стойкости и способности наклёпываться в процессе эксплуатации под действием ударов клапана при посадке в седло). Перед наплавкой необходимо прокалить электроды при температуре 330—350 °С в течение одного часа. Наплавка рабочего слоя производится на токе обратной полярности с проковкой каждого валика-шва со скоростью, не позволяющей металлу остыть. После этого можно производить окончательную механическую обработку посадочных поверхностей седел клапанов (рис. 4).

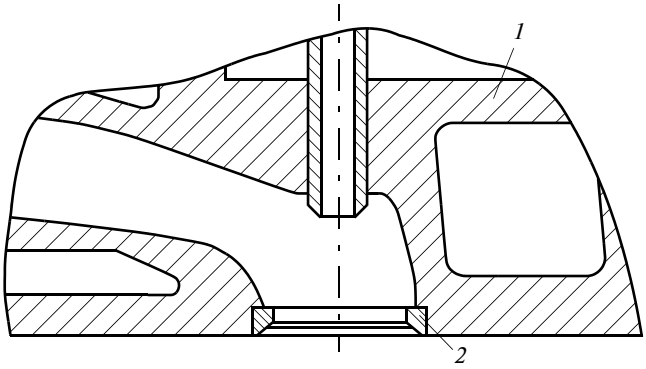

Рис. 1. Выпрессовка седла клапана:
1 — головка блока цилиндров; *2* — сёдла клапанов

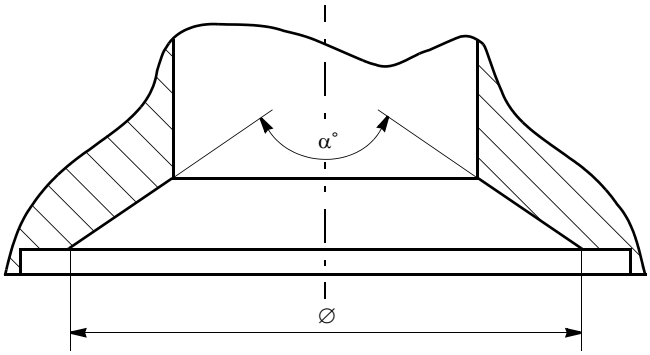

Рис. 2. Расточка посадочных поверхностей для наплавки:
∅ — диаметр отверстия под сёдла клапанов; α — угол формирования сёдел

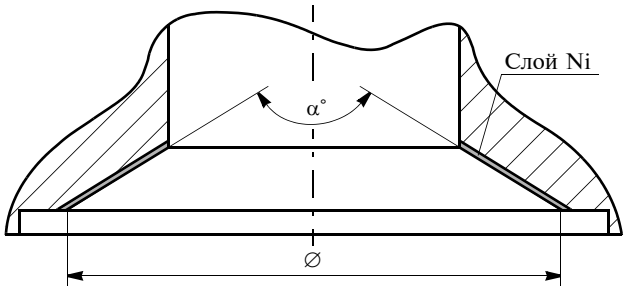

Рис. 3. Расточка посадочных поверхностей после наплавки никеля

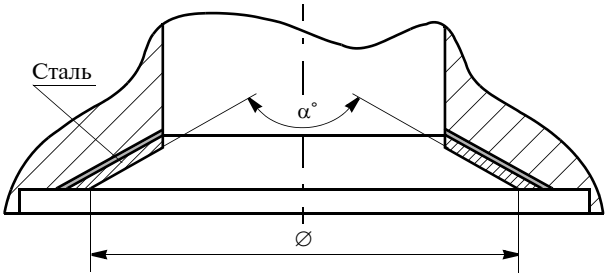

Рис. 4. Окончательная механическая обработка посадочной поверхности под седло клапана

Разработанный способ позволяет практически полностью исключить вероятность выпадения сёдел из головок цилиндров в процессе их эксплуатации, повысить термоусталостную прочность головок цилиндров и увеличить прочность и износостойкость наплавленных сёдел.

Литература

1. Силовые агрегаты ЯМЗ-236 всех комплектаций и исполнений, руководство по эксплуатации 236Н-3902150 РЭ, ОАО "Автодизель" 392 с.
2. Техническая эксплуатация автомобилей; Учебник для вузов / Под ред. Г.В. Краморенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983. — 488 с.
3. Пат. № 2448825 Российская Федерация МПК B23P 6/00 B23K 9/04. Способ получения седла клапанов чугунных головок цилиндров ДВС при их изготовлении или восстановлении методом электродуговой наплавки / А.В. Жаров, А.А. Павлов, В.А. Большаков — 27.04.2012 Бюл. № 12.

МОСКОВСКИЕ АВТОЗАВОДЦЫ В ГЛУБОКОМ ТЫЛУ.

На Урале

Из Москвы эшелоны с автозаводским оборудованием и кадрами шли на Южный Урал. Многие автозаводцы впервые видели древние уральские горы, красивые хвойные леса и быстрые горные реки. Проехав старые горнозаводские поселки и перевал Урал-Тау, где стоит каменный столб, отделяющий Европу от Азии, одни эшелоны останавливались на станции Миасс, другие следовали к Челябинску.

Новым местом жизни части московских автозаводцев стал городок Миасс, один из старейших на Южном Урале, расположенный в речной долине, близ Ильменских гор и красивейших озер Ильмень и Тургояк.

<...>

В начале ноября из Москвы в Миасс приехала первая группа руководителей будущего автомоторного завода. Ещё 21 октября 1941 года И.А. Лихачёв назначил исполняющим обязанности директора завода главного инженера завода Е.Б. Арманда, заместителем директора завода по строительству — Г.З. Шмаглита. Вместе с ним в Миасс приехали начальники цехов, технологи, металлурги, конструкторы, проектировщики. В Миасс шли эшелоны с рабочими, их семьями, с оборудованием моторного производства.

Встал большой и сложный вопрос о размещении завода. Наиболее подходящим местом явилась строительная площадка близ поселка Мелентьевка, у Ильменского заповедника.

К декабрю 1941 года на этой площадке, где предполагалось строить оборонный завод, были вырыты котлованы, возведены коробка одного их цехов и несколько вспомогательных зданий, проложена железнодорожная ветка к станции Миасс. Вопрос о площадке надо было решать в наркомате, который переместился в Челябинск, в обкоме партии, и, главное, получить разрешение ГКО. В конце ноября 1941 года автозаводцы собрались в наркомате у С.А. Акопова.

К вечеру этого дня из Москвы прилетел И.А. Лихачёв и прямо с аэродрома приехал к С.А. Акопову. На совещании было решено просить разрешения правительства на использование площадки оборонного завода в Миассе. С этими предложениями С.А. Акопов обратился в ГКО. На другой день рано утром С.А. Акопов сообщил И.А. Лихачёву, что ночью звонили из Москвы и просили дать более конкретные предложения по миасскому варианту. Теперь в Миасс направились С.А. Акопов и И.А. Лихачёв.

Стоял холодный уральский день. Снега не было, а мороз крепчал. Долго ехали по разбитым грунтовым дорогам через Ильменский заповедник, меж вековых мачтовых сосен. Добрались до стройплощадки. Около разведённых костров кучками сидели и грелись люди. Запорошенные снегом котлованы, коробка здания без окон и дверей. К стройке вплотную подступал сосновый лес. Подошли к группе рабочих, поздоровались, спросили, как идут дела. "Да вот, стоим, кирпича нет. Война идёт, а мы еле-еле работаем", — ответили они с горечью. Осмотр площадки не принёс большого утешения, но другого выхода не было.

30 ноября 1941 года состоялось решение Государственного Комитета Обороны о строительстве Миасского автомоторного завода. В первом квартале 1942 года надо было закончить строительство основных корпусов и начать выпуск моторов и коробок скоростей. 10 декабря 1941 года Наркомат боеприпасов передал в ведение Наркомата среднего машиностроения стройплощадку. Начиналось создание Миасского автомоторного завода. Для этого имелось всё необходимое: непосредственная близость сырьевых источников, богатая промышленная база — Магнитогорск, Златоуст, Челябинск (электроэнергия, металл, уголь), Миасс (торф, лес, вода).

Миасский автомобильный завод должен был получать поковки и детали холодной штамповки с Челябинского завода, а карбюраторы и другие узлы — с Шадринского завода. В свою очередь он должен был поставлять детали стального и цветного литья, серого и ковкого чугуна Ульяновскому и Шадринскому заводам, а также моторы для конвейеров Ульяновского и Московского заводов.

Часть эшелонов с оборудованием и людьми вышла из Москвы по прямому адресу — Миасс, Литейный же цех первоначально был отправлен в Троицк. В ноябре 1941 года внесли уточнение в места расположения эвакуированных цехов Московского завода. Из Троицка в Миасс отправили литейное оборудование, а из Ульяновска — моторное производство и его кадры рабочих и инженеров.

С ноября 1941 года и до середины марта 1942 года в Миасс прибывали оборудование и кадры. Складывался руководящий состав завода, формировался рабочий коллектив. Из Троицка в Миасс приехал назначенный директором завода К.Д. Дурнов, старый автозаводец, отличный механик. Прибыл из Москвы П.В. Семин, возглавивший Литейный цех. С оборудованием Инструментального цеха приехал его начальник А.Л. Кацман.

Из Москвы привезли оборудование и Термического цеха. Его возглавил опытный инженер В.И. Лалыкин. В Термическом цехе автозавода он начал работать рядовым инженером в июле 1928 года. В.И. Лалыкин обладал исключительной работоспособностью и даром организатора и новатора производства. Впервые в СССР под его руководством был внедрён в производство процесс газовой цементации, что позволило поднять производительность труда в два раза и улучшить качество автомобильных деталей. Имя Лалыкина как крупного специалиста-термиста было известно далеко за пределами завода.

Моторное производство из Москвы в Ульяновск и из Ульяновска в Миасс привёз старый автозаводец — начальник цеха К.И. Баранов, Цех коробок скоростей возглавил Шаргородский.

В Миасс приехали опытные конструкторы и технологи — инженеры С.Д. Чайков, Е.М. Байзерман, В.И. Силантьев, П.Д. Храмцов и др.

<...>

В первые месяцы 1942 года в Миасс хлынул большой поток вагонов с оборудованием, материалами, кадрами. На десятки километров от Миасса растянулись составы, ожидая разгрузки, нарушилась нормальная работа железной дороги. Оборудование прибывало на открытых платформах, обледеневшее, занесённое снегом, покрытое ржавчиной. Приходили десятки эшелонов со станками и незавершённой продукцией. Прибывающее оборудование требовало значительных работ по восстановлению и ремонту.

Эшелоны принимались на ветку завода, не подготовленную к большому потоку грузов. Не было разгрузочных эстакад и механизмов, вся работа велась вручную. Оборудование, материалы и полуфабрикаты разгружались прямо в снег. В то же время шла встречная погрузка. Всего поступило 2650 вагонов и платформ, из них 570 было вновь погружено и переадресовано. Чтобы разместить прибывающие грузы, их приходилось оттаскивать в сторону от железнодорожной ветки. Люди в лёгких пальто и летней обуви, не привыкшие к жёстокой уральской зиме, партиями по 20—30 человек на листах железа волокли станки на расстояние до 400 м к месту монтажа.

Бригады по разгрузке возглавляли старые автозаводцы. Соревнуясь между собой, показывали образцы самоотверженного труда Плешаков, Сусарев, Шерноков, Пралыгин, Дымов, Соколов, Зуев, Яцик и др.

<...>

Чтобы быстрее организовать выпуск моторов, использовав привезённое из Москвы незавершённое производство, надо было форсировать пуск механических цехов, а затем подтянуть строительство литейных цехов и вспомогательных хозяйств с таким расчётом, чтобы, пока имелась привезённая незавершённая производством продукция, успеть ввести в строй свою заготовительную базу.

Строителями руководил М.А. Прихожан. Несмотря на очень сильные морозы, строительные работы шли круглые сутки, трудились в две смены по 11 часов, сутками не покидали стройку. Монтажники шли за строителями по пятам. Ещё не была закончена кирпичная кладка Термического цеха, а начальник цеха В.И. Лалыкин на площадке под открытым небом подготавливал оборудование для монтажа.

Рис. 1. Сборка грузовиков на заводе Урал ЗИС

В Механосборочном цехе под станки укладывали бетонную подушку.

Для получения необходимой прочности применяли электронагрев.

Необходимо было подсоединить площадку новостройки к уральскому энергетическому кольцу Уралэнерго, соорудить электроподстанцию на заводе и высоковольтную линию из района Карабаш через озеро Тургояк на завод. Эти работы проводились по заданию ГКО Наркоматом электростанций СССР и выполнялись эвакуированным из Донбасса трестом "Донбассетьстрой".

Работами по сооружению линии электропередачи руководил И.И. Филимончук, крупный знаток этого дела и неутомимый организатор. От Наркомата электростанций СССР для разрешения всех технических и общехозяйственных вопросов был прикомандирован начальник производственного отдела Главэнергостроя В.В. Гульденбальк. Он внёс много новых оригинальных технических идей, прочно вошедших в практику строительства.

Ровно 14 дней потребовалось на то, чтобы на восток от стройки пролегли тугие струны проводов, включившие автомоторный завод в общую электроэнергетическую систему на Урале. Это был беспримерный подвиг. Работы велись вдали от жилищ, в глухом лесу, при 40-градусных морозах. Всё делалось одновременно: лесорубы рубили вековые сосны, расчищая трассу; землекопы кострами отогревали промерзшую, крепкую, как камень, землю; такелажники ставили стройные мачты опор; плотники связывали эти опоры, а вслед за ними шли монтёры с тугими мотками проводов. Было вынуто 3 тыс. куб. м мёрзлой земли, было поставлено 144 тяжёлые высоковольтные опоры.

Котельная на площадке строительства была маломощной и не могла обеспечить теплом новые цехи завода. Запроектированная заводская ТЭЦ ещё не строилась. Автозаводцы обратились в Челябинский обком партии к первому секретарю Н.С. Патоличеву. Они попросили дать заводу три паровоза, которые снабдили бы цехи теплом хотя бы в таком количестве, чтобы могли работать металлорежущие станки и моечные машины.

Н.С. Патоличев немедленно связался с начальником Южно-Уральской дороги и узнал, сколько есть у него действующих паровозов, затем соединился по телефону с одним из членов ГКО и просил решить вопрос о выделении паровозов из резерва для строящихся автозаводов, в том числе трёх паровозов для Миасского.

Через два дня вопрос был решён ГКО положительно. Три паровоза прибыли в Миасс. Их включили в систему снабжения.

Приступили к работе литейные цехи, но отопительная система в них из-за сильных морозов часто выходила из строя. К.Д. Емельянова-Щукина, мастер Стержневого цеха, вспоминает об этих днях: "Все требовали от нас литья. Литейщиков ругали на чём свет стоит. Нас обвинили чуть ли не в саботаже, называли "шляпами" и "киселями" за то, что не ладился выпуск стержней. Но, честное слово, мы в этом не были виноваты! Мы старались, как только могли, но ничего не могли поделать, потому что в цехе стоял самый настоящий мороз. Окоченевшими пальцами не то что работать, а и пошевелить было трудно. Помню,

слёзы от досады стояли у нас на глазах. Плакали и работали, и всё-таки ничего не получалось. Морозы были сильнее нас: почти все стержни уходили в брак. С трудом давали по нескольку стержней в день...".

Но не только морозы были виноваты. На стройке и монтаже не хватало людей. Цехи "Мотор" и "Коробка скоростей" должны были быть пущены в марте 1942 года. Однако монтаж оборудования был начат лишь в середине февраля. И хотя цехи ещё не имели кровли, станки расставлялись по местам, монтажники их выверяли, бетонщики заливали бетоном подножия станков. Несмотря на всё это, срок пуска цехов был под угрозой срыва.

В марте 1942 года начала работать линия поршневых колец мастера отделения Ф.М. Хиронникова. Это были первые автомобильные детали, сделанные на Урале. Постепенно вступали в строй и другие отделения цеха. В начале апреля был закончен монтаж оборудования моторного цеха, на конец апреля был назначен его пуск.

За два дня до 1 мая 1942 года оператор Яичкин поставил на рольганг сборочного конвейера первый автомобильный блок. Складываясь из деталей, по конвейеру медленно, подчас надолго останавливаясь, шёл первый мотор. Рождался он трудно. Наконец, первый мотор, сошедший с конвейера, попал в руки окрасчицы Павловой. Простой малярной кистью (окрасочная камера была ещё не готова) она окрасила его в зелёный цвет, защитный цвет войны.

30 апреля 1942 года у стенда испытательной станции собрались руководители завода, рабочие, инженеры, техники. Всех охватило волнение. И вот в просторном цехе загудел оживший двигатель. Голос мотора возвестил о том, что далеко от фронта, на Южном Урале, у Ильменских гор, родился новый завод. С того памятного, последнего апрельского дня 1942 года заводские ворота широко открылись для поездов, увозивших моторы с маркой МАЗИС.

В апреле завод получил производственную программу как действующее предприятие. Первая партия моторов ушла весной 1942 года в Москву и Ульяновск.

<...>

Миасский автомоторный завод был создан несмотря на тяжёлые условия. Уже в 1942 году завод дал стране 9303 мотора, 15 375 коробок скоростей. Для нового завода открывались большие перспективы. По решению правительства во второй половине 1944 года завод после расширения и реконструкции начал выпуск комплектных автомобилей и получил название "Уральский автомобильный завод".

* * *

Той памятной ноябрьской ночью 1941 года, когда нарком С.А. Акопов вёл с Москвой переговоры о размещении завода в Миассе, И.А. Лихачёв заботился о судьбе идущих в Челябинск эшелонов кузнечно-прессового оборудования. Место назначения — строительная площадка Наркомата танковой промышленности, так называемая "Строй-7", в 12 км от Челябинска. В Наркомате по строительству у С.З. Гинзбурга встретились И.А. Лихачёв, начальник Главуралстроя Н.А. Дыгай. Было решено осмотреть все строящиеся и законсервированные площадки в Челябинске. Площадка "Строй-7" была наиболее подходящей. Здесь были частично возведены здания мартеновских и механических цехов, трансформаторная подстанция и другие сооружения. 20 ноября 1941 года состоялось решение ГКО о строительстве кузнечно-прессового завода (КПЗ) в Челябинске.

Рис. 2. Сборка моторов ЗИС-5

В Челябинск приехали автозаводские инженеры Х.С. Лоттерштейн, Б.З. Любовный, Р.И. Чусов, П.Н. Носов, инженер-строитель М.А. Мышко и др.

Один за другим подходили эшелоны с рабочими и оборудованием.

Объединённым приказом НКСМ и Наркомстроя от 12 декабря 1941 года были установлены следующая очерёдность и сроки строительства основных объектов завода: Рессорный цех — к 10 марта 1942 года, Кузнечно-прессовый и Рамный — к 1 марта. Окончание строительных работ по производственным объектам намечалось на середину апреля, а по жилищно-бытовым — на май 1942 года.

Вначале строительство КПЗ было возложено на Главуралстрой (ОСМЧ-1). Намечено было перебросить механизмы и рабочих из Сталинграда. До января 1942 года этого осуществить не удалось, и Наркомстрой обязал ОСМЧ-22, имевшую на площадке "Строй-7" солидную материально-техническую базу, вести строительство завода.

Между тем выявилось много трудностей. Площадка бывшего "Строй-7" была завалена демонтированным оборудованием металлургических заводов, тяжёлыми металлоконструкциями, частями машин. Были уже вырыты для металлургических цехов котлованы глубиной 10 м, на их засыпку требовалось около 30 тыс. куб. м земли.

Надо было разгружать, очищать площадки. Рабочих и механизмов было мало. В результате строительные работы развернулись только с середины февраля 1942 года. В первую очередь началось сооружение Штампо-инструментального цеха, а затем Ремонтно-механического. В феврале же приступили к возведению стен и монтажу Кузнечно-прессового и Рамного цехов, в мае — Рессорно-пружинного. Остальные цехи строились в марте—июне того же года.

<...>

Строительство цехов шло одновременно с разгрузкой оборудования, поступавшего из Троицка, Шадринска,

Москвы и Ульяновска. С января по март 1942 года прибыло 1199 вагонов с эвакуированным оборудованием.

По распоряжению наркомата и управления автозавода часть оборудования подлежала реэвакуации, и эта погрузка происходила одновременно с разгрузкой. За год было разгружено 2940 вагонов и вновь погружено и переадресовано 957 вагонов. Это очень усложняло дело и не могло не отразиться на качестве оборудования.

Июль 1942 года был первым месяцем, когда завод вошёл в число действующих предприятий. Хотя строительство ещё не было закончено, завод выполнил программу июля на 100,5 %. Во втором полугодии завод начал осваивать кроме автодеталей детали мотоцикла и малолитражного двигателя, тракторные и танковые детали, поковки, каски и др.

Коллектив самоотверженно преодолевал трудности становления.

Партийная организация завода оформилась в начале 1942 года, выбрали парторгов по цехам. Партбюро занималось вопросами размещения оборудования, расстановкой кадров, ходом монтажа.

К концу 1942 года на заводе было свыше 2200 человек, из них 39 % — работники Московского автозавода, а остальные — новые рабочие. Производство было очень тяжёлым, а удельный вес женщин на заводе очень высок — 35 %. Не хватало рабочих и инженеров. Коллектив с огромным напряжением (по 11 часов вместо 8) работал на всех трудоёмких участках, имея только по два выходных дня в месяц вместо четырёх-пяти. Кадровые рабочие показывали пример.

Так, прессовщики Сеничкина и Гаврюшин, быстро освоив процессы производства в новых условиях, систематически выполняли нормы на 150—200 %. Штамповщики Кузнечного цеха Доронин и Горячев выполняли нормы на 125—130 %, кузнец Шмачков перевыполнял нормы выработки, досрочно выполнял спецзаказы. Резчики Рессорно-пружинного цеха в трудных условиях обеспечивали бесперебойный ход всего производственного процесса изготовления рессор. Слесарь Штампо-инструментального цеха Смирнов, работавший на автозаводе с 1934 года, в Челябинске выполнял нормы на 250 %. Однако соревнование и стахановское движение в 1942 г. не получили широкого развития. Производительность труда в цехах ЧКПЗ, несмотря на 11-часовой рабочий день и уменьшение количества выходных дней, была немного ниже, чем на Московском автозаводе. Это объяснялось значительным обновлением кадров на заводе за счёт неквалифицированных рабочих, впервые попавших на производство, плохим состоянием оборудования после эвакуации, а также трудностями материального снабжения завода.

Вопрос о жилищном устройстве рабочих являлся чрезвычайно острым. В Челябинске разместились десятки эвакуированных заводов и учреждений, свободные площади были заняты. Первых автозаводцев разместили в школах Тракторозаводского района. К концу 1942 года 154 человека поселили в заводских домах, 995 человек расселили в арендованных помещениях, 886 человек — в частных домах. Около 250 рабочих не были обеспечены жильём и фактически жили на заводе — ночевали в цехах, конторах. Из 700 детей рабочих в ясли и детские сады было устроено всего 30. Теснота была повсюду. В школьном классе находилось по пять-шесть семей и больше. Приходилось жить и в землянках, которые были оборудованы двухъярусными нарами.

С сентября 1942 года прекратились перевозки рабочих и служащих на работу и с работы. Людям, работавшим по 11 часов в смену, приходилось тратить на дорогу три—четыре часа, так как расстояние от жилья до завода составляло от 3 до 22 км.

Поликлиника завода помещалась в двух маленьких комнатах, в одной комнате принимали одновременно два врача. Своей аптеки завод не имел.

Очень плохо обстояло дело с продовольствием, со снабжением рабочих. Были перебои с выдачей хлеба не только в магазинах, но и в столовых завода. В феврале 1942 года на базе Есаульского молочного совхоза было организовано подсобное хозяйство.

Московские автозаводцы мужественно вынесли на своих плечах самые большие трудности по разгрузке и монтажу оборудования, строительству и пуску завода. Они принесли на уральскую землю традиции своего родного завода — Московского автомобильного, плечом к плечу с уральцами создавали Челябинский кузнечно-прессовый завод.

"Особенность этого завода заключается в том, что он построен в глубоком тылу в короткий срок, в течение пяти-шести месяцев. В такие короткие сроки в мирное время заводы не строились", — говорил нарком Акопов на партийно-хозяйственном активе КПЗИС 16 октября 1942 года.

* * *

Героически трудились автозаводцы и в Зауралье. В Шадринск было направлено оборудование арматурного и деревообрабатывающего цехов, инструментального цеха № 2, карбюраторного завода-филиала, завода вспомогательного оборудования. На этой базе создавался новый Шадринский агрегатный завод, который возглавил московский автозаводец Л.Я. Пучков. Заместителями директора были М.А. Гурвиц и А.Ф. Богачев, главным механиком — В.И. Гуров, начальником ремонтно-механического цеха — В.А. Гуляницкий, начальником строительства был назначен С.М. Хиронников, который позднее был избран секретарем Шадринского райкома партии.

В отличие от Миасского и Челябинского заводов в Шадринске строительной или какой-либо определённой производственной площадки не было. Цехи завода пришлось территориально разбросать в разных частях города — на пяти участках, расположенных в радиусе 3,5 км.

Инструментальный цех № 2 и радиаторно-прессовый цех (производство боеприпасов и радиаторов) разместили на основной территории завода — в помещениях мешочной фабрики "Красный Октябрь". Для цеха карбюраторов и арматуры, которая по кооперации должна была поставляться Миасскому заводу, выделили помещение бывшего клуба. Цехам капитального ремонта и инструментально-штамповому заводу вспомогательного оборудования выделили помещения бывшей типографии и школы механизации сельского хозяйства. Для деревообрабатывающего цеха было отведено помещение леспромкомбината, производство автомобильных кабин было организовано на площадке бывшего промкомбината. Электростанция завода находилась в 5 км от основной базы завода. Помещения не соответствовали условиям развертывающегося производства, много в них пришлось переделывать заново. В связи с этим было намечено строительство большого нового корпуса площадью до 26 тыс. кв. м.

Строительство завода вела ОСМЧ-70, которую возглавил автозаводец Б.М. Клейменов. Работы начались с февраля 1942 года.

Первые автозаводцы и вагоны с оборудованием из Москвы начали прибывать в десятых числах ноября 1941 года. Оборудование приходило эшелонами по 20—30 вагонов в день. Долог был путь автозаводцев от Москвы до Шадринска. Так, один из эшелонов тронулся с территории родного завода в 11 часов 19 ноября 1941 года прямым назначением в Шадринск, а прибыл через 17 суток — 5 декабря. Дорога на Шадринск была перегружена — эшелон долго простаивал на станциях и полустанках. И на все просьбы отправлять эшелон дежурные, уставшие от бессонных ночей и невероятного напряжения, отвечали: "Впереди идут воинские эшелоны".

Урал встретил москвичей сильными морозами, доходившими до 25—35 градусов. Раскрыв двери теплушек, автозаводцы увидели свое оборудование, прибывшее раньше и в беспорядке выгруженное вдоль насыпи. Отказавшись ждать обещанных из Миасса тракторов, люди стали перетаскивать оборудование вручную. Подкладывали под станки санные полозья, привязывали 10—25 лямок (в зависимости от веса станка) и тянули их. Станки катились по снежной дороге довольно быстро. Вновь прибывшее оборудование выгружали на открытую площадку. К 1 декабря прибыло 1 292 москвича, а к январю 1942 года их было уже 1 528. Все трудились не покладая рук. На разгрузке оборудования большую помощь оказали физкультурники завода — мастера спорта Виктор Маслов, Николай Морозов, Георгий Жарков, Николай Разумовский и др.

В первом квартале коллектив завода занимался подготовкой к пуску. Велись строительные и монтажные работы. Для расширения электростанции завод получил турбогенератор в 5 тыс. кВт. Машина была смонтирована за 40 дней. Электростанция стала давать энергию не только заводу, но и другим предприятиям Шадринска.

С большими трудностями проходила организация производства. Многие технологические процессы приходилось восстанавливать по памяти. Необходимая документация отсутствовала. Большую находчивость и изобретательность в этих условиях проявили П.В. Ховрин, начальник технической части, а затем начальник цеха, главный инженер завода П.Н. Игнатов, А.А. Кузовков, начальник Инструментального цеха № 2 (впоследствии главный инженер завода), В.З. Бабичев, В.А. Каплунов (впоследствии главный инженер завода) и начальник цеха Н.Н. Веселовский. Инструментальный цех № 2 смонтировал оборудование в декабре 1941 года. В январе и феврале оно было отлажено, а в марте 1942 года цехом уже была выполнена производственная программа.

"Главной массой рабочих цехов, — вспоминает П.В. Ховрин, — были местные женщины из города и ближних деревень и посёлков. Большое им спасибо, они хорошо работали, и дисциплина была высокая и отличная при работе 11 часов в смену. Были случаи невыхода по болезни сменщиц, да ещё на ответственных операциях. Работницы работали, не выходя из цеха по 36 часов, пока не заменят больную работницу".

На Шадринском автоагрегатном заводе было немало высококвалифицированных рабочих из Москвы. Они усиленно обучали вновь пришедших рабочих. В Инструментальном цехе № 2, например, была организована молодёжная бригада. Механик Михаил Харитонов, если какой-либо станок выходил из строя, сутками не уходил с завода. Так поступали многие автозаводцы.

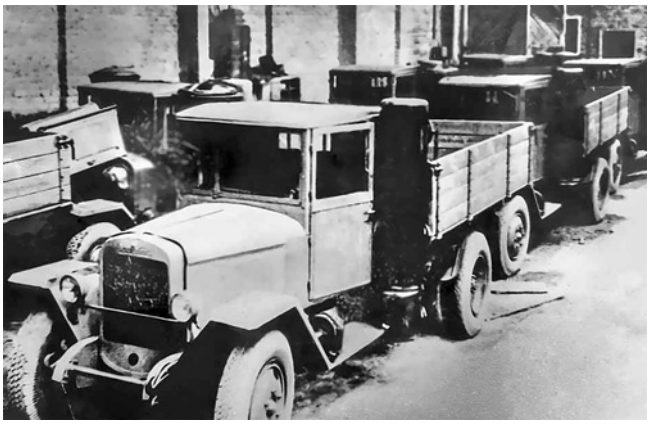

Рис. 3. Производство газогенераторных грузовиков Урал ЗИС-21А

Становление Шадринского агрегатного завода проходило трудно. Летом 1942 года, в разгар боёв на берегу Волги у стен Сталинграда, завод перестал получать технические масла, автоматы останавливались. Запасов не было.

С горечью в душе проходил по цеху П.В. Ховрин и видел, что 60 % оборудования первых операций остановилось. Работало три автомата, и масла оставалось только на пять дней. Что делать? Стали искать выход. Приготовили специальную жирную эмульсию. В течение шести суток испытывали её на одном из тяжёлых автоматов. Он работал хорошо. Тогда перевели все автоматы на эту эмульсию. Работа цеха пошла бесперебойно.

Заводу передали большое подсобное хозяйство (700 га пахотной земли) с 30 тракторами и 10 комбайнами. Создали две рыболовецкие бригады. Продукты из подсобного хозяйства и улов рыбы шли в основном на общественное питание. Организовали сапожную мастерскую, которая не только ремонтировала, но и шила обувь для автозаводцев.

В июле 1942 года открылась заводская поликлиника. Врачи проводили приём и непосредственно в цехах. В этом же году выстроили хороший детский сад, который позднее стал показательным на весь район и область. Коллектив автозаводцев привык к своеобразным природным условиям Зауралья, не жалея сил трудился для фронта.

Постепенно налаживался быт. Весь жилищный фонд в 1942 году составлял 3 480 кв. м. Жилплощадь была предоставлена 2 342 работникам завода. Только незначительное число людей имело отдельные комнаты. Как правило, проживающие в частных домах ютились в "углах", проходных комнатах, на кухнях. 542 работника были размещены в сельской местности в радиусе 5—7 км от города. Общественное питание завода организовала А.К. Козловская.

В конце февраля 1942 года И.А. Лихачёв подписал приказ: считать Шадринский автоагрегатный завод действующим с 1 марта 1942 года.

Так, в суровые годы войны от Московского автозавода отпочковались четыре специализированных завода: Ульяновский автомобильный завод, Миасский завод автомобильных моторов, Шадринский завод арматуры, Челябинский кузнечно-прессовый завод.

В результате сложилось новое кооперирование заводов автопромышленности: предприятия были рассредоточены и в то же время приближены к источникам сырья. На Волге и Урале нарастал ритм заводских конвейеров. Их продукция шла на фронт.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Козловский В.Н., Айдаров Д.В., Панюков Д.И., Шанин С.А. — Разработка и развитие систем менеджмента качества автомобильных корпораций 1

АСМ-факты 6

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Мамбеталин К.Т. — К энергетической эффективности автомобиля 7

Яманин А.И. — Численный анализ уравновешенности и обусловленной ею низкочастотной вибрации двигателей 9

Зленко М.А., Теренченко А.С. — Как считать цилиндры? 13

Балакина Е.В., Сергиенко И.В. — Применение разных радиусов колеса в задачах моделирования свойств активной безопасности автомобилей 16

Мазур В.В. — Экспериментальное определение сопротивления качению автомобильных колёс с безвоздушными шинами 19

Читатель предлагает

Ромашин Р.В. — Цилиндрический клиновой механизм 23

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Сафронов Э.А., Сафронов К.Э., Князев И.М. — Использование направляемого транспорта в недостроенных метрополитенах 27

Курносов Н.Е., Лебединский К.В., Николотов А.А., Алексеев Д.П. — Испарительно-вихревой кондиционер 30

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Лебедев А.Е., Павлов А.А., Лебедев Д.В., Ватагин А.А. — Способ получения сёдел клапанов при восстановлении методом электродуговой наплавки 33

ИНФОРМАЦИЯ

Из истории отечественного автомобилестроения

Московские автозаводцы в глубоком тылу. На Урале 35

Главный редактор Н.А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Белорусский редакционный совет:

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

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русаен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 09.03.2019. Подписано в печать 22.04.2019.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

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

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № 77-7184
Цена свободная.
Журнал рекомендован ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, входит в международную базу данных *"Chemical Abstracts"*.

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