

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

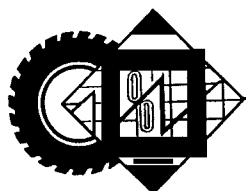
У Ч Р Е Д И Т Е Л И :

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,

науки и технологий РФ,

ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

№ 1 • январь • 2021



ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 005.06

НЕОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ИНФОРМАЦИЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МНОГООПЕРАЦИОННОМ ТЕХПРОЦЕССЕ ПО ТРЕБОВАНИЯМ IATF 16949-16

ЯМАЛИЕВА Р.А., канд. техн. наук **КАСЬЯНОВ С.В.**

КамАЗ, Набережночелнинский институт К(П)ФУ

(tstark48@mail.ru)

Проанализированы причины низкой результативности управления качеством автокомпонентов. Показано, что стандартизованная технологическая документация не соответствует требованиям IATF 16949:16. Инструменты СМК разрабатываются в отрыве от процедуры технологического проектирования. Качество документации не позволяет проводить улучшения продукции. Сделан вывод о необходимости встраивания процедур СМК в общий процесс технологической подготовки производства.

Ключевые слова: технологическая документация, управление качеством автокомпонентов, анализ содержания документации, технологическая подготовка производства.

Yamaliev R.A., Kasyanov S.V.

LACK OF INFORMATION FOR QUALITY MANAGEMENT IN A MULTI-OPERATION PROCESS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF IATF 16949-16

The reasons for the low efficiency of quality management of automotive components are analyzed. It is shown that the standardized technological documentation does not meet the requirements of IATF 16949:16. QMS tools are developed in isolation from the process design procedure. The quality of documentation does not allow for product improvements. It is concluded that it is necessary to integrate QMS procedures into the overall process of technological preparation of production.

Keywords: technological documentation, quality management of automotive components, analysis of the content of documentation, technological preparation of production.

Подготовка производства новых изделий на наших автомобилестроительных предприятиях в советское время осуществлялась согласно ЕС ТПП [1]. Для обеспечения требуемого качества продукции специализированные инженерные службы разрабатывали и утверждали стандартизованные комплекты технологи-

ческой документации. Согласно им осуществляется контроль качества продукции и контроль соблюдения технологической дисциплины на рабочих местах. Вопросы улучшения качества, степени регулирования процессов были оставлены на усмотрение специалистов.

К сожалению, и раньше, и теперь в документах немало огрехов. Первый из них — это поверхностное изложение специалистами содержания операций. Достаточно много и типовых ошибок. Так, в маршрутных картах чаще всего не указываются вспомогательные операции, в операционных — далеко не всегда указаны атрибуты технологических переходов. В картах эскизов можно обнаружить ошибки в определении адекватных характеристик качества автокомпонента. Наконец, немало замечаний выявляется при метрологической экспертизе. При наличии квалифицированных кадровых рабочих и контролёров это могло быть как-то допустимо. Однако результативное управление при низком качестве содержания исходной информации становится вообще недостижимым. А механизмов оценки содержания информации, необходимой для оперативного проведения корректирующих действий, пока не выработано.

Тем не менее с 2010 года российские головные заводы для одобрения производства своих поставщиков требуют представить комплект документов и образцов автокомпонентов. Очевидно, что содержание комплекта должно соответствовать содержанию техдокументации. Однако сегодня это является скорее исключением, чем правилом. А ведь согласно требованиям IATF 16949-16 головное автосборочное предприятие должно уравнивать в правах внешних и внутренних поставщиков, т.е. требовать документальное подтверждение возможностей производства ещё и со всех своих производственных подразделений.

Проблемы несоответствия в документах острее всего проявляются при выпуске сложных автокомпонентов. Например, это изготовление передних и задних стёкол легковых автомобилей, поковок крупных колёчатых валов, станочная обработка корпусных деталей и др. Их производственный цикл обычно состоит

A	Цех	Уч	PM	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа						
						КВО	Проф	СМ	Р	УТ	КР	
B	Код, наименование оборудования					Код	Конц.	Вязкость	Фракции	Плотность		
M	Вспомогательный материал					рН	ОПА/К	J	р тока	U	Магн. поле	Время
P1				Давление	Температура							
A 1	ОО1	1		0XX	7324 Грунтование	ИОТ XXXXX ИОТ YYYYY						
B 2	Камера нанесения грунта, зона роботов, такт — 3 мин					15474		5			2	
M 3	Вторичный грунт ImronHydronPrimer HP500 IK WB VS1 или VS5 TY ZZZZZ · 2010, VS1 — светлый грунт под темные цвета эмали					VS5 — темный грунт под темные цвета эмали						
4	Диминерализованная вода											
5	Растворитель Purging BC equipment: TY 2319-054-49404743-2008											
6	Перчатки безворсовые Jeta Pro ГОСТ 12.4.252-2013, ГОСТ 12.4.183-91					Отсутствуют ключевые характеристики процесса						
11	Фильтровальная ткань тип PA/560G10 класс фильтрации F5-50 п. м.-замена пос											
12	Смазка Солидол жировой ГОСТ 1033-79											
13	Коагулянт Клотин ЖКС-07мБ											
14	Флокулянт Клотин Ф-09А					1%-ный р-р						
15	Пеногаситель Foamaster MO 2150					Примечание: приготовление раствора флокулянта согласно инструкции изготовителя						
16	Бактерицид ФАТ-04											
КТПП												
A 1	ОО1	1		O70	0389 Контроль качества окраски роботами	И					У	
B 2	Камера нанесения грунта, зона контроля, такт — 3 мин											
M 3	Перчатки безворсовые Jeta Pro ГОСТ 12.4.252-2013, ГОСТ 12.4.183-91											
O4	Контролировать качество нанесения грунта роботами, при необходимости произвести настройку параметров роботов											

Отсутствуют характеристики и критерии контроля

Рис. 1. Фрагмент маршрутно-операционной карты

из достаточно большого количества производственных операций. Управление качеством в этих маршрутах зачастую осложняется ещё и тем, что прерывать цикл обработки в потоке операций недопустимо.

В данной работе проблемы подготовки адекватной информации для управления качеством представлены на примере технологии нанесения лакокрасочного покрытия на каркас кабины грузового автомобиля. В течение длительного срока эксплуатации машины оно должно сохранить целостность после ударов твёрдых частиц, не меняя свои рабочие характеристики и потребительские свойства в течение длительного времени. Оно позволяет также индивидуализировать транспортное средство, выделять машину среди массы похожих на неё, а также радовать глаз. Поэтому покрытие имеет сложную структуру: фосфатный слой, катафорезное и собственно лакокрасочное покрытие. Обеспечивать долговечность сохранения целостности покрытия на площади в производстве несколько квадратных метров весьма сложно. Требуется не только тщательный выбор поставщиков материалов, но и стабилизация всех процессов цикла нанесения лакокрасочного покрытия.

В конструкторской документации предусмотрено достаточно много характеристик качества покрытия и требований к ним: толщина грунта, прочность сцепления грунта с поверхностью, прочность сцепления эмали с грунтом, толщина эмали, соответствие цвета эталону, атмосферостойкость, водостойкость, термостойкость и т.д. При этом на разных элементах кабины — дверцах, боковых, лицевых, внутренних поверхностях технические требования к качеству различаются.

В действующем производстве технологический цикл реализуется на специализированной линии окраски. В него входят: очистка и обезжиривание поверхности металла, фосфатирование, грунтование, окрашивание, сушка, итоговый контроль качества и при необходи-

мости — доработка дефектных участков покрытия. Дополнительно выполняется также герметизация стыков деталей и нанесение защитного покрытия на днище. Общее количество производственных операций составляет около пятидесяти. Хотя технологическая линия окраски эксплуатируется уже более 10 лет, при окончательном контроле систематически выявляются повторяющиеся виды дефектов, включая неисправимые, что свидетельствует о недостаточной стабильности процесса.

Вначале был выполнен анализ содержания документации, используемой для управления. Выяснилось, что все утверждённые требования к качеству изложены в одном документе — маршрутно-операционной технологической карте (фрагмент её представлен на рис. 1). Во-первых, она чрезмерно объёмна (около ста страниц), а значит — неудобна для применения на рабочих местах. Описание операций перегружено перечнями применяемых материалов без пояснений по их применению. Очевидно, что большую часть из них имеет смысл вынести в рабочие инструкции, которые на сегодняшний день отсутствуют. В карте не указаны параметры переходов, т.е. специалисты не определили факторы потери качества. Объективно необходимая для управления информация прописана поверхностно. Например, большая часть контролируемых характеристик вообще не указана, а значит — сложно интерпретировать данные их контроля. Зато на предприятии введено обязательное применение дополнительных документов — стандартных операционных карт. Но целый ряд указанных в них характеристик отличается от тех, которые приведены в технологической карте. В целом получается, что фактическое содержание имеющейся документации не позволяет решать задачу повышения качества и не обеспечивает выполнение требований IATF 16949:16.

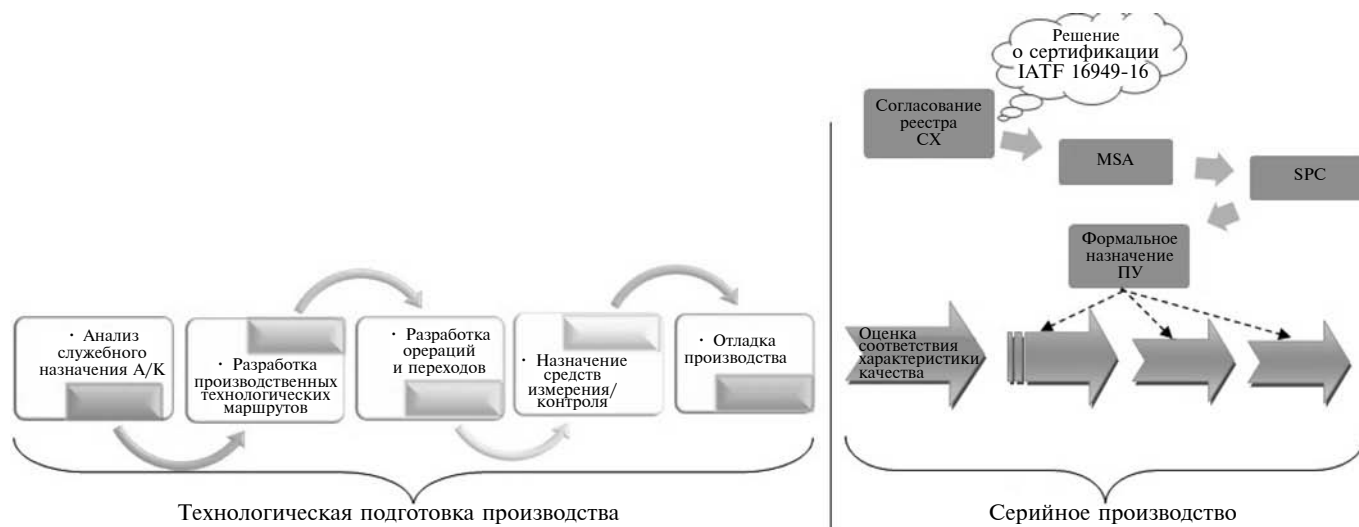


Рис. 2. Практика применения инструментов управления качеством по IATF 16949-16

Таким образом, действующая стандартизованная технологическая документация составлялась только для использования в качестве критериев при оценке соответствия качества продукции. При этом она изобилует неточностями, ошибками, содержит избыточную информацию, а также неудобна в работе.

Чтобы окончательно оценить её пригодность для организации современного управления, рассмотрим схему подготовки и применения стандартного комплекта технологической документации (рис. 2). Принято считать, что первая её часть — разработка и оформление карт технологических маршрутов, а вторая — разработка карт операций. Когда происходит выбор модулей оснастки, средств измерения и контроля, а также назначаются режимы рабочего процесса. В ходе контроля предельные значения характеристик качества используются как критерии.

Когда уже в ходе серийного производства руководство вынуждено принимать решение о необходимости сертификации СМК, а значит — о введении регулирования каждой специальной характеристики качества

ва, то, конечно, специалисты вводят оценку приемлемости измерительных процессов, оценивают стабильность производственной операции, оформляют план управления характеристикой. Однако специалисты понимают, что качество и объективность такой пожарной подготовки достаточно низкая, так что действующий режим контроля качества отменён не будет. Даже детали, прошедшие процедуру регулирования характеристики, всё равно будут подвержены контролю. Поэтому смысл применения инструментов управления IATF для улучшения качества полностью отсутствует.

Таким образом, назрела необходимость встроить подготовку информационно-технологического сопровождения для управления качеством в привычный специалистам процесс технологической подготовки производства [2].

Литература

1. Маталин А.А. Технология машиностроения // Машиностроение. — 1985. — 512 с.
2. Васильев В.А., Биктимирова Г.Ф. Информационное обеспечение для управления качеством автокомпонентов // Качество. Инновации. Образование. — 2015. — № 8. — С. 24–28.

УДК 338.2+005.6

МЕНЕДЖМЕНТ РИСКОВ ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО АУДИТА СМК

ЛАРЦЕВА Т.А., д-р экон. наук КАТАНАЕВА М.А., СТОЕВА Н.И.

Московский политехнический университет (МАМИ) (quality.smis@mail.ru)

Рассмотрен процесс внутреннего аудита СМК с учётом принципа аудирования "подход, основанный на рисках", заложенного в ISO 19011:2018. Определен уровень риска процесса внутреннего аудита СМК, а также предложены мероприятия по его минимизации.

Ключевые слова: СМК, процесс, внутренний аудит, менеджмент рисков.

Lartseva T.A., Katanaeva M.A., Stoeva N.I.

RISK MANAGEMENT OF THE INTERNAL QMS AUDIT PROCESS

The process of internal audit of the QMS was considered, taking into account the principle of auditing "risk-based approach" laid down in ISO 19011:2018. The level of risk of the internal audit process of the QMS was determined, and measures were proposed to minimize it.

Keywords: QMS, process, internal audit, risk management.

Внедрение системы менеджмента качества — ответственный шаг руководства компании, стратегическое решение, в результате реализации которого повышается эффективность управления, формируются конкурентные преимущества и обеспечивается устойчивое развитие предприятия [1]. При определении процессов СМК организации должны учитывать риски и возможности.

Основные этапы работ по менеджменту рисков в СМК это: определение ситуации; оценка рисков; управление рисками; анализ результативности/эффективности управ-

Таблица 1

Вероятность	Уровень ущерба				
	Незначительный	Низкий	Средний	Высокий	Критический
	1	2	3	4	5
Вероятно	5	10	15	20	25
Возможно	4	8	12	16	20
Маловероятно	3	6	9	12	15
Редко	2	4	6	8	10
Невероятно	1	2	3	4	5

Таблица 2

Уровень риска	Ответственный за принятие управленческого решения	Действия по управлению риском в системе менеджмента качества
Критический	Генеральный директор	Незамедлительные действия. Разработка мероприятий по минимизации риска
Высокий	Генеральный директор, представитель руководства по СМК, владельцы процессов СМК	
Средний	Представитель руководства по СМК; владельцы процессов СМК; должностные лица и/или руководители структурных подразделений	Выбор методов управления рисками. В случае экономической целесообразности — разработка мероприятий по минимизации риска. Периодический мониторинг уровня риска
Низкий	Должностные лица и/или руководители структурных подразделений	Периодический мониторинг уровня риска

ления рисками [2]. Учёт рисков и возможностей должен осуществляться на каждом из этапов любого процесса системы.

Для начала риски идентифицируют, устанавливают цель процесса и критерии его результативности/эффективности. Данные сведения могут быть взяты из Карт процессов СМК организации, либо Реестра процессов системы. Затем выполняется анализ рисков: для каждого выявленного риска устанавливаются причины его возникновения и возможные последствия в случае его реализации. Далее оценка уровня риска предполагает определение численного значения риска, позволяющее сравнить величину риска различных вариантов решений и выбрать из них наиболее отвечающий выбранной организацией стратегии риска. Методы оценки рисков наиболее полно представлены в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011 [2], где также приводятся характеристики применимости данных методов, что может быть использовано при выборе наиболее оптимально-

го. Например, определение уровня риска может быть осуществлено по формуле $R = Aq$, где R — уровень риска; A — последствие нежелательного события; q — вероятность его наступления. С этой целью могут использоваться матрицы рисков, например, представленные в табл. 1.

Затем уровень риска сопоставляется с установленным критерием для выбора метода управления риском. К методам управления риском относят: избежание риска; локализацию риска (идентификацию риска и контроль); диверсификацию риска (минимизация возможных потерь); компенсацию рисков (предупреждение риска). Пример распределения ответственности и полномочий при принятии управленческого решения, а также механизм выбора метода управления риском представлен в табл. 2.

Результативность и эффективность проведённых мероприятий по управлению рисками в СМК может быть определена одним или несколькими показателями, установленными на этапе определения

ситуации с учётом атрибутов идентифицированных процессов. Критерии результативности/эффективности следует связать с такими показателями, как: качество, сроки, затраты.

Одним из основных механизмов поддержания в рабочем состоянии и совершенствования СМК организаций является внутренний аудит. Он позволяет определить степень соответствия системы выбранному вектору развития, заданному Стратегией, Политикой, Целями и реализуемому в рамках процессного менеджмента. Кроме того, посредством внутреннего аудита СМК при необходимости определяются корректирующие и/или предупреждающие действия, а также его результаты составляют основу входных данных для анализа со стороны руководства.

Для процесса проведения внутреннего аудита системы менеджмента качества нормативные документы условно можно разделить на стандарты на СМК, регламентирующие требования к ней (такие как ГОСТ Р ИСО 9001—2015 [4], IATF 16949:2016 [5]) и рекомендации по процедуре проведения внутренних аудитов СМК, к которым можно отнести ГОСТ Р ИСО 19011—2012 [6], ISO 19011:2018 [7], ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021-1—2017 [8], ГОСТ Р 57189—2016/ISO/TS 9002—2016 [9].

Стоит отметить стандарт ISO 19011:2018 "Руководящие указания по аудиту систем менеджмента", в котором содержатся руководящие указания по аудиту, принципы аудита, указания по управлению программой аудита и проведению аудита систем менеджмента. Этот стандарт не просто рассматривает риски и возможности, а интегрирует их во все этапы процесса внутреннего аудита СМК. Так, принцип "подход, основанный на рисках", является одним из семи принципов проведения внутреннего аудита.

Рассмотрим механизм менеджмента рисков применительно к процессу внутреннего аудита СМК, блок-схема которого представлена на рисунке. Исходя из анализа, делаем вывод, что риски могут возникнуть на этапе планирования, организации и проведения внутреннего аудита, на этапе разработки и

реализации корректирующих действий, а также оценки их анализа, также на этапе формирования отчётных документов по результатам проведения внутреннего аудита.

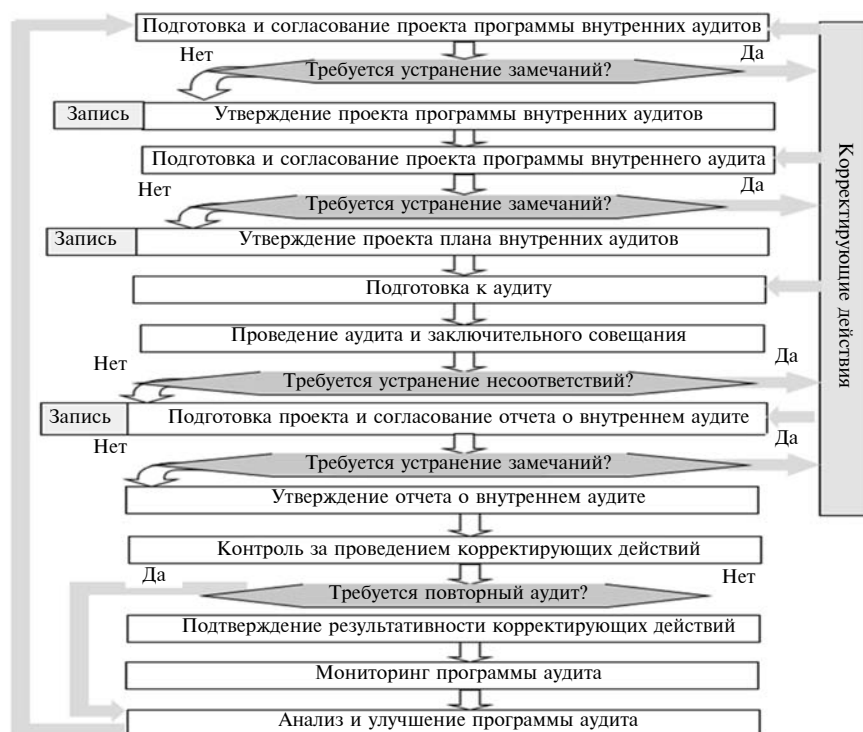
Цель процесса "Внутренний аудит СМК": получение в полном объёме информации о соответствии СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001—2015, а также собственным требованиям организации при оптимальном уровне затрат на реализацию процесса.

Критерии результативности/эффективности процесса "Внутренний аудит СМК": выполнение плана внутреннего аудита СМК (100 %); обеспечение уровня затрат на проведение внутреннего аудита СМК на оптимальном уровне, установленном бюджетом (100 %).

Основные этапы процесса: выбор объектов аудита СМК; определение критериев аудита СМК применительно к каждому объекту; формирование аудиторской группы СМК применительно к каждому объекту; определение сроков проведения аудита СМК; формирование годовой программы внутренних аудитов СМК; выпуск распоряжения о внедрении годовой программы внутренних аудитов СМК; составление планов внутренних аудитов СМК в соответствии с распоряжением и годовой программой внутренних аудитов СМК; проведение внутренних аудитов СМК в соответствии с планом; составление отчётных документов по результатам внутреннего аудита СМК; оценка результативности корректирующих действий; согласование и утверждение отчётных материалов по результатам внутреннего аудита СМК.

Риски по процессу: невыполнение плана внутреннего аудита СМК (100 %); нерегулярность проведения внутренних аудитов СМК; несоблюдение принципов аудита СМК; превышение объёма затрат на контроль и/или затрат на предупреждающие действия за счёт значительного уровня затрат на проведение внутреннего аудита СМК, как следствие, рост общих затрат, связанных с качеством.

Опасные события при реализации процесса: увеличение количества несоответствий в организации и их последующий переход в катего-



рию "критических"; увеличение затрат на внутренние аудиты СМК выше планируемого в бюджете.

Причины возникновения риска: ошибки при планировании аудита СМК; недостаточная компетентность сотрудников отдела, отвечающего за поддержание и улучшение СМК, а также внутренних аудиторов; несоблюдение принципов внутреннего аудита СМК; ошибки при организации и проведении работ аудиторами; ошибки при составлении плана аудита СМК, а также его доведении до сведения сотрудников проверяемых подразделений; затраты времени на аудит объектов, деятельность которых для достижения результативности СМК не существенна.

Последствия возникновения рисков таковы: неполучение в полном объеме достоверной информации о соответствии СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001—2015, а также собственным требованиям организации; неполная информация и/или недостоверная информация по входным данным анализа СМК со стороны руководства в части результатов внутренних аудитов СМК; принятие управленческих решений, основанных на неполной и/или недостоверной информации по СМК организации; дополнительные за-

траты на качество, связанные с увеличением количества внутренних и внешних отказов продукции, услуг; дополнительные затраты на проведение внепланового аудита СМК; превышение уровня затрат на контроль и/или предупреждающие действия.

Например, на основе табл. 1 уровень риска для процесса внутреннего аудита СМК равен 6, поскольку вероятность возникновения равна 3, а последствия 2. Но представитель руководства по СМК принял решение о необходимости минимизации риска. В этом случае перечень основных мероприятий по минимизации риска может выглядеть следующим образом: сформировать реестр внутренних аудиторов СМК, и для каждого аудитора определить объекты аудита, обеспечив принципы компетентности, независимости и беспристрастности; при формировании чек-листов для аудиторов СМК предусмотреть необходимость сбора информации: о процессах и операционных процедурах, о компетенции сотрудников и обучении, об оборудовании, об окружающей рабочей среде, об обращении с пробными, о контроле качества и подтверждении результатов; при формировании чек-листов для аудиторов СМК предусмотреть проверку

ведения оперативных и отчётных записей проверяемым подразделением и или должностным лицом; организовать и провести обучение внутренних аудиторов и руководителей различного уровня управления вопросам, связанным с проведением аудита СМК применительно к конкретным объектам аудита, в том числе вопросам демонстрации руководителями аудиторской группе того, что выполняются все требования, установленные в нормативных документах; вопросам доведения до сведений работников подразделений документированной информации по СМК; методам анализа несоответствий, а также разработки корректирующих действий и их документального оформления; методам анализа рекомендаций и их применения на практике; вопросам подготовки расписания для того, чтобы все сотрудники, присутствие которых нужно для аудита, были на рабочих местах; определить периодичность проведения внутреннего аудита СМК в зависимости от важности объекта аудита СМК для достижения поставленных целей в области качества.

Разработанные мероприятия целесообразно оформить в рамках программного документа, предусматривающего: мероприятия, сроки, ответственные, результаты работы.

Таким образом, для предприятий автомобильной промышленности, разрабатывающих СМК в соответствии с требованиями стандартов на них, одним из базовых процессов является внутренний аудит, при планировании и организации которого следует учитывать риск-ориентированный подход, заложенный стандартами ГОСТ Р ИСО 9001—2015 и ISO 19011:2018. Менеджмент риска процесса внутреннего аудита системы менеджмента качества не должен быть целью, но рассматриваться как инструмент достижения целей.

Литература

1. Окрепилов В.В. Роль экономики качества в устойчивом социально-экономическом развитии России // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. — СПб.: Изд-во Государственного регионального центра стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. — 2015. — № 1-2 (46-47). — С. 41—51.
2. Katanava M.A., Grozovsky G.I., Lartseva T.A., Vyacheslavova O.F., Parfenyeva I.E. Risk-oriented thinking in the quality management system of an organization // ENERO-MARZO 2020, номер: VOLUMEN 7 NÚMERO 1. — Pág. 310—317.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. — Введ. 2012-12-01. — Москва: Стандартинформ, 2012. — 74 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9001—2015. Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. — Введ. 2015-11-01. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 49 с.
5. IATF 16949:2016 "Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ISO 9001:2015 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части".
6. ГОСТ Р ИСО 19011—2012 Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. — Введ. 2013-02-01. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 35 с.
7. ISO 19011:2018 Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-19011-2018-\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-19011-2018-(rus).pdf)
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021-1—2017 Оценка соответствия. Требования к органам, проводящим аудит и сертификацию СМ. Часть 1. Требования. — Введ. 2018-04-01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 45 с.
9. ГОСТ Р 57189—2016/ISO/TS 9002_2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО 9001—2015 (ISO/TS 9002:2016, IDT) [Текст].— Введ. 2017-11-01. — Москва: Стандартинформ, 2017.— 38 с.



"ГАЗель Сити" стала победителем в номинации "Автобус года" на конкурсе "Лучший коммерческий автомобиль года в России". Итоги самого престижного конкурса в области производства коммерческого транспорта были подведены в этом году в онлайн-формате. Жюри конкурса состоит из журналистов профессиональных изданий, пишущих об автомобильном и коммерческом транспорте. Главным критерием при определении лучших является вклад автомобиля или автобуса в повышение эффективности грузовых и пассажирских перевозок.



Производство автобуса "ГАЗель Сити" началось на Горьковском автозаводе весной 2020 г. Отличительные особенности модели — низкий уровень пола, накопительная

площадка для пассажиров в центральной части салона, пневматическая система понижения высоты пола на остановках, широкая двойная дверь. Модель сконструирована в соответствии с требованиями программы "Доступная среда" и обеспечивает высокий уровень комфорта, в том числе — удобство входа и выхода для маломобильных пассажиров. Автобус рассчитан на перевозку 22 пассажиров и имеет 17 сидячих и 5 стоячих мест.

Конструктивные особенности "ГАЗель Сити" — оригинальная усиленная рама с понижением в центральной части, задний мост увеличенной грузоподъемности, эффективная тормозная система с дисковыми тормозными механизмами на всех четырех колёсах. Компактные размеры (длина автобуса — 6600 мм, ширина — 2510 мм) позволяют легко маневрировать на узких городских улицах или в плотном транспортном потоке.

Новая модификация в модельной линейке УАЗ для рынка Казахстана будет производиться на мощностях завода "СарыаркаАвтоПром" в городе Костанай. Первая партия из 34 автомобилей уже передана республиканским региональным медучреждениям. Автомобили скорой медицинской помощи класса С пополнят гамму производимых на казахстанской сборочной площадке УАЗов — "Патриот", "Хантер", "Профи" и коммерческих моделей классического семейства. Новые АСМП оборудованы всем необходимым для транспортировки, мони-

торинга и эффективного проведения мероприятий реанимационного характера при угрожающих жизни пациента состояниях на догоспитальном этапе.



В списке оснащения спецмодификации — многофункциональная тележка-каталка со съёмными носилками, бифазный дефибриллятор-монитор со встроенным принтером и транспортный реанимационно-анестезиологический монитор, а также аппараты искусственной вентиляции лёгких и другое медоборудование для оказания срочной помощи в пути.



Термо- и шумоизолированный каркасный модульный блок с наружными стеклопластиковыми панелями, армированный для надёжной фиксации оборудования, обеспе-

чивает оптимальную для медицинского персонала эргономику салона. Бензиновый двигатель "ЗМЗ-Про" рабочим объемом 2,7 л. (149,6 л.с., 235 Н·м), работающий в паре с пятиступенчатой механической коробкой передач, и подключаемый полный привод позволяют максимально реализовать потенциал автомобиля при эксплуатации в труднодоступных районах местности.

В 2021 году на костанайском заводе "СарыаркаАвтоПром" планируется наладить сборку и другой спецтехники на базе УАЗ "Профи". Речь, в частности, идёт об автоцистернах для транспортировки молочной продукции, хлебных фургонах, бензовозах, топливозаправщиках, а также пожарных автомобилях.

"Группа ГАЗ" поставила ГУП "Мосгортранс" электронные тренажёры, предназначенные для обучения водителей работе на электробусах и двух флагманских дизельных моделях (автобус большого класса ЛиАЗ-5292 и автобус особо большого класса ЛиАЗ-6213). Они точно имитируют рабочую кабину серийных автобусов ЛиАЗ, где в режиме реального времени моделируются различные дорожные ситуации. Особое внимание в обучающей системе уделяется отработке действий водителя в нештатных ситуациях, связанных со сложными погодными условиями или нарушениями со стороны других участников дорожного движения.

Кабины-имитаторы разработаны производителем компьютерных тренажёров совместно с инженерами Ликинского автобусного завода с учётом особенностей конструкции и технического оснащения каждой модели. Тренажёры установлены в учебно-курсовом комбинате ГУП "Мосгортранс". Обучающая система имитирует поездки на реальных маршрутах Москвы с воспроизведе-



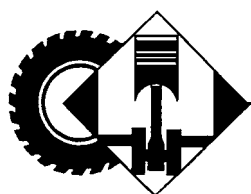
нием объектов окружающей дорожной инфраструктуры и действий всех участников дорожного движения. За рулём симулятора обучаемый отрабатывает полный спектр манёвров при работе на маршруте: заезд и выезд с остановки, остановка на светофоре, проезд пешеходных переходов, перестроение на другую полосу и т.д. Помимо этого, моделируются нештатные ситуации на дороге: авария по курсу движения транспорта, "подрезание" легковым автомобилем, внезапное появление пешехода на проезжей части, выезд на встречную полосу, маневрирование в условиях закрытого обзора и пр.

Водитель осваивает на тренажёре особенности поведения машины при сложных погодных условиях, таких как мокрый снег, туман, дождь, гололёд. То есть отрабатывает действия и реакции при возникновении различных чрезвычайных ситуаций, при этом особое внимание уделяется отработке всех вариантов экстренного торможения автобуса с использованием основной, вспомогательной и запасной тормозных систем. При обучении работе на электробусе симулятор позволяет также освоить непривычный для большинства водителей процесс подзарядки нового типа транспорта. Кабина-тренажёр в режиме реального времени воспроизводит движения электробуса при парковке под ус-

тройством динамической подзарядки и отражает данные уровня заряда батареи — так же, как это происходит на реальных маршрутах.

Специальные датчики, установленные в симуляторах, считывают показания с приборной панели, руля и педалей. В зависимости от этого динамическая платформа реагирует на действия водителя, полностью имитируя особенности движения машин длиной 12 и 18,7 м. Кабина обеспечивает наблюдение за моделируемой ситуацией в секторе 180° с места водителя, также симулятор оснащён средствами объёмной звуковой имитации.

В последние годы в Москве стало доброй традицией украшать к Новому году электрическими гирляндами не только ёлки и улицы, но и муниципальные транспортные средства. К нынешним новогодним праздникам на городские пассажирские маршруты Москвы вышли 50 украшенных праздничной иллюминацией электробусов "Мосгортранса". Половина из них — КамАЗы, остальные — производства Группы "ГАЗ". В таком виде машины курсируют по городу до 10 января. Насколько сократился при этом фактический пробег на одной зарядке каждого иллюминированного электробуса — не сообщается.



КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.332

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ — БЛИЖАЙШИЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЁЛЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Д-р техн. наук **БЕЛОУСОВ Б.Н.**,
кандидаты техн. наук **БЕРДНИКОВ А.А.**, **ЛЮШНИН С.А.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана, ВА РВСН
имени Петра Великого (903.765-65-97)

Рассматривается повышение устойчивости от опрокидывания и устойчивости движения автопоезда благодаря использованию мехатронной системы управления седельно-сцепного устройства тягача и полуприцепа. Предлагается конструкция и алгоритм работы подобной системы.

Ключевые слова: автопоезд, мехатронная система, управляемое ССУ, поперечная устойчивость и устойчивость движения автопоезда.

Belousov B.N., Berdnikov A.A., Lushnin S.A.
**MECHATRONIC SYSTEMS ARE THE CLOSEST WAY
TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF HEAVY ROAD
TRAINS**

This article focuses on improving the rollover stability and stability of the road train movement through the use of a mechatronic control system for the tractor and semi-trailer hitch. The design and algorithm of such a system are proposed.

Keywords: road train, mechatronic system, controlled hitch, lateral stability and stability of the road train.

Тяжёлые колёсные автопоезда в составе седельного тягача и полуприцепа являются важнейшей частью экономики любой страны. Но именно они в транспортном потоке любых стран приносят и наибольший риск тяжёлых дорожно-транспортных происшествий и катастроф. Поэтому автопоезда и их динамика находятся в центре внимания учёных, эксплуатационников и законодателей. Программы определения харак-

теристик при опрокидывании (оценке управляемости) тяжёлых грузовиков, как правило, представляют собой большую исследовательскую работу.

К таковым, например, относится НИР, проводимая Национальным центром транспортных исследований (*NTRCI*) в партнёрстве с *Oak Ridge National Laboratory (ORNL)*, Исследовательской компанией Мишлен-Америка (*MARC*), Университетом Западного Мичигана (*WMU*) и Мемориальным институтом Баттелла. Это исследование является одним из основных проектов, проводимых *NTRCI* в качестве университетского транспортного центра (*UTC*) для Управления по исследованиям и инновационным технологиям (*RITA*), агентства Министерства транспорта (*DOT*). В исследовании также участвовали через субподряд автомобильные фирмы: "Вольво Тракс Северная Америка", Университет Клемсона и Центр транспортных исследований (*TRC Inc.*). Эта работа, озаглавленная "Характеристика опрокидывания тяжёлого грузовика (Фаза-А)", посвящена вопросам устойчивости движения и поперечного опрокидывания колёсного магистрального автопоезда в составе седельного тягача и полуприцепа [1].

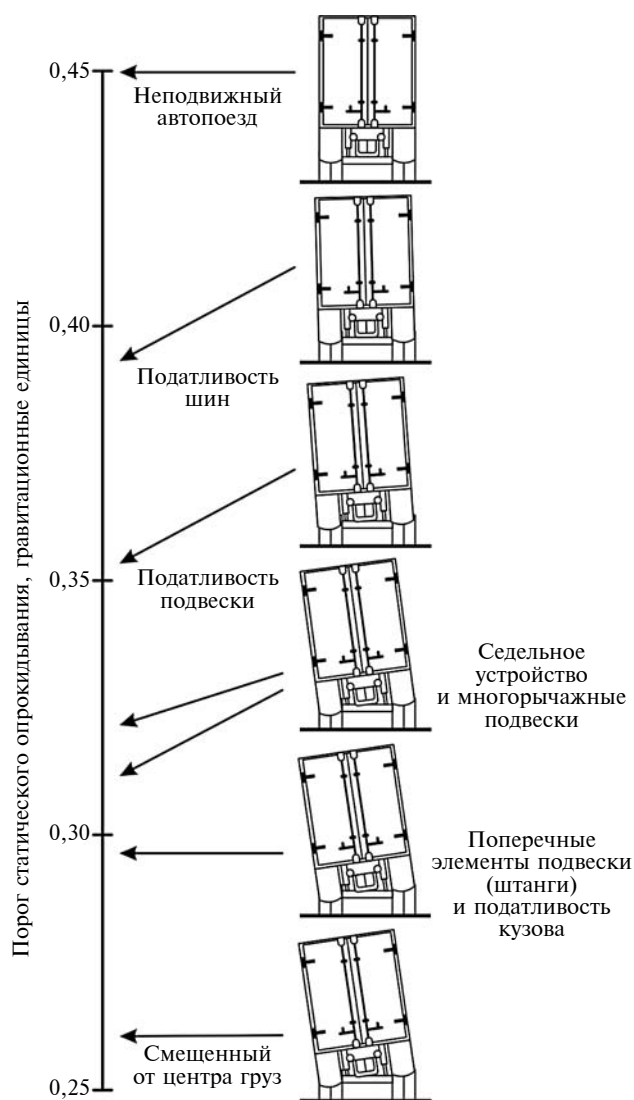


Рис. 1. Факторы, ограничивающие устойчивость

Связанные с потерей устойчивости движения и опрокидыванием тяжёлых автопоездов аварии случаются нечасто (примерно 3 % всех аварий с участием автопоездов), однако при этом они составляют около 13 % всех аварий со смертельными случаями. То есть число смертельных случаев при таких происшествиях непропорционально высоко.

В литературе сообщается, что вероятность опрокидывания седельного автопоезда увеличивается на 23 % на каждые 10 % увеличения массы полезного груза и на 49 % на каждые 10 % увеличения скорости. Устойчивость тягача с прицепом ограничена его относительно высоким центром масс, техническими характеристиками тягача, допусками на соединения тягача с полуприцепом и ходами подвески. Типичное влияние компоновки подвески и её компонентов на базовую устойчивость транспортного средства показано на рис. 1 [2].

Повышение безопасности автотранспортных средств связано с улучшением дорожных условий, но знание влияния взаимодействия полезной нагрузки, шин, подвесок, типов АТС, их жёсткости (тягач с прицепом или полуприцепом, одиночный автомобиль и в комбинации) также может внести существенный вклад в повышение безопасности тяжёлых автопоездов, особенно при проектировании. Такое понимание может стать основой для поддержания разработки и оценки новых технологий, таких как более широкие оси, более широкие односкатные шины, внедрение мехатронных систем, таких как адаптивные системы подвески, системы предупреждения опрокидывания.

Подобные знания крайне важны для разработки моделей динамики тяжёлых транспортных средств следующего поколения, которые были бы необходимым инструментом для оценки новых продуктов и взаимодействий, связанных со сложной динамикой автопоездов. Понимание динамики потери устойчивости и опрокидывания тяжёлых автопоездов является сложным и не может быть объективным без проведения физических испытаний АТС, сбора данных по их устойчивости и управляемости, разработки информации о характеристиках опрокидывания автопоездов и использования специализированного лабораторного оборудования. Ограниченные ресурсы усугубляют сложности исследований опрокидывания автопоездов и требуют широкой кооперации предприятий и специалистов, а также долговременной продолжительности исследований.

Известно, что существует множество ограничений на конструкцию тягача и полуприцепа. Для конструкции полуприцепа ограничения обусловлены стыковкой с тягачом, настилом пола на платформе полуприцепа-платформы для размещения груза с приспособлением привода "вкл./выкл." погрузочного приспособления и клиренсом относительно высоких шин. Ограничения тягача включают размеры и массу двигателя, требования к присоединению полуприцепа, гибкость шасси в управлении при изменении высоты над уровнем моря, производственные ограничения и потребности водителя. Законодательные ограни-

чения включают антропометрические размеры, массу и рост водителя.

Сочетание податливости в седельно-сцепном устройстве (ССУ) и клиренса снижает порог опрокидывания, особенно автопоездов с полуприцепами. В результате порог опрокидывания типичного тягача с полуприцепом обычно находится в диапазоне от 0,3 до 0,4 g. Принимая во внимание, что руководящие документы, например США, по проектированию кривизны шоссе приводят к боковым ускорениям до 0,17 g при рекомендованных пределах скорости [1], и что водители довольно регулярно маневрируют на своих ТС со скоростью более 0,2 g [1], запас по возможности опрокидывания автопоездов для данных дорожных условий значительно меньше, чем для однозвенных транспортных средств.

В обзоре литературы также рассматривается физика опрокидывания и содержится информация о моментах крена, осях крена, центростремительном ускорении, порогах опрокидывания, эффектах жёсткости, а также совместности в продольном и поперечном направлениях. Обсуждаются также различные подходы к тестированию и оценке, включая тестирование на стенде опрокидывания, тестирование на треке, полевые испытания и моделирование (в том числе дискуссии по моделированию множества компонентов и моделированию на основе кинематики). Наряду с обсуждением методов тестирования и оценки приводится обзор общих показателей для оценки опрокидывания. Эти показатели включают боковое ускорение, увеличение скорости рыскания, скорость крена и боковое скольжение тягача и полуприцепа.

Динамика движения автопоезда с полуприцепом отличается от одиночного транспортного средства, особенно в критических условиях, ввиду наличия неуправляемой шарнирной связи между тягачом и полуприцепом. Так, например, при заносе полуприцепа он не изменяет направления движения тягача, и ликвидировать занос поворотом управляемых колёс тягача невозможно [3]. В работе [4] результаты расчётов позволили автору сделать вывод о том, что наличие полуприцепа понижает критическую скорость движения тягача, к таким же последствиям приводит и удаление точки сцепки от центра тяжести тягача. В свою очередь высокое расположение центра тяжести полуприцепа приводит к его боковому раскачиванию [5]. То есть одними из существенных ограничений, накладываемых на скорость движения автопоезда, являются критические скорости по опрокидыванию и влиянию полуприцепа/прицепа [6].

Опрокидывание — это неустойчивое поведение автопоезда, которое приводит к повороту его вокруг оси крена на угол 90° (опрокидывание на бок) или на 180° (опрокидывание на крышу) [7]. Это может быть следствием ошибочного манёвра водителя или внешнего воздействия на автопоезд.

Внешнее воздействие на автопоезд вызвано силами внешнего объекта, такими как резкий удар (наезд) шины автопоезда о лежащий предмет или столкновение с другим транспортным средством, что вызывает вращательное движение автопоезда и приводит к опрокиды-

ванию. Наиболее распространённым является внешнее воздействие при боковом скольжении автопоезда, когда колёса ударяются о бордюр, зарываются в мягкую землю обочины или происходят случаи, которые приводят к внезапному увеличению боковой силы. По физике явления описанные случаи похожи на опрокидывание при повороте и являются наиболее распространёнными.

Опрокидывания, произошедшие из-за ошибок водителей в управлении автопоездом, являются результатом неправильно выбранной скорости поворота или недостаточного сцепления шин с опорной поверхностью, либо осуществлено движение по уклону с углом наклона, превышающим критический угол по опрокидыванию.

Процесс опрокидывания достаточно подробно рассмотрен в работе [7], где ССУ смоделировано с точки зрения движения транспортного средства с креном и имеет три этапа. На первом при крене автопоезда происходит передача нагрузки в сторону крена с одной кромки ССУ на другую до момента отрыва от первой. На втором — дальнейший крен сопровождается поворотом ССУ в пределах собственной степени свободы относительно тягача и следует за движением крена полуприцепа до тех пор, пока отбойники не соприкоснутся друг с другом. На третьем ССУ "выбирает" максимальный зазор, и соединение между тягачом и полуприцепом становится жёстким. В дальнейшем тягач и полуприцеп кренятся как единое целое.

Такой подход к опрокидыванию автопоезда показывает, что упругодемпфирующие связи в ССУ оказывают непосредственное влияние на устойчивость автопоезда и до определённого момента, пока крен сопровождается поворотом ССУ в пределах собственной степени свободы, полуприцеп и тягач не оказывают существенного влияния на устойчивость друг друга.

Из-за наличия в ССУ определённой степени свободы опрокидывание может спровоцировать влияние полуприцепа при движении автопоезда даже по прямой. Влияние полуприцепа возникает как следствие его начального отклонения, вызванного внешним воздействием на автопоезд силами внешнего объекта, например силы ветра или рассмотренного выше, а также в результате выхода автопоезда из поворота, либо движение прицепа с уводом при наличии поперечного уклона дороги [6]. При достижении автопоездом критической скорости по влиянию полуприцепа у него возникают поперечные колебания в горизонтальной плоскости, что оказывает существенное влияние на безопасность движения и может привести к таким нежелательным явлениям, как занос полуприцепа и сход его с дороги, увеличение износа шин и шарнирных соединений, повышенные нагрузки на крюке и расход топлива.

Наконец, WMU [1] исследовал передовые концепции проектирования, которые выходят за рамки традиционного современного проектирования тягача с полуприцепом. В рамках этого исследования было предложено и первоначально исследовано несколько концепций проектирования тягача. Они включают: подвижное седельное устройство с управляемыми сте-

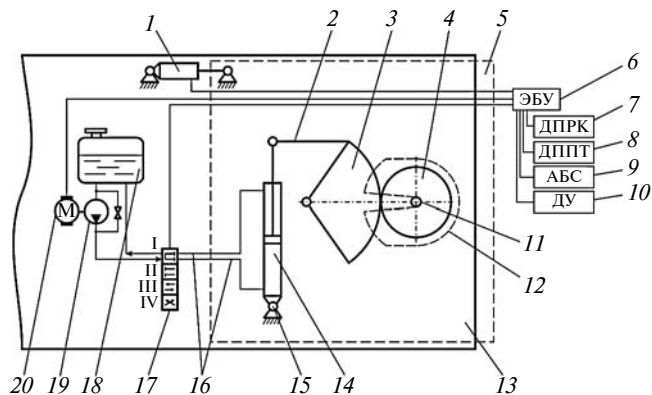


Рис. 2. Седельно-сцепное устройство с системой блокировки и обеспечения управляемости автопоезда:

1 — датчик положения полуприцепа относительно седельного тягача; 2 — поводок; 3 — зубчатый сектор; 4 — шестерня; 5 — тягач; 6 — электронный блок управления; 7 — датчик положения рулевого колеса; 8 — датчик положения педали тормоза; 9 — датчик антиблокировочной системы; 10 — датчик удара; 11 — шкворень; 12 — седельно-сцепное устройство; 13 — полуприцеп; 14 — гидроцилиндр; 15 — опора; 16 — трубопроводы; 17 — электромагнитный распределитель; 18 — ёмкость масла; 19 — масляный насос; 20 — электродвигатель

пенями свободы для тягача; всеколёсное рулевое управление поворотом колёс полуприцепа; концепцию активной подвески.

Решением существующей проблемы по обеспечению безопасности движения автопоезда может стать мехатронное ССУ. Мехатронный модуль — это функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с взаимопроникновением и единой аппаратно-программной интеграцией составляющих его элементов, имеющих различную физическую природу [8—10].

Управляемое мехатронное ССУ повышает безопасность эксплуатации большегрузных автопоездов за счёт регулирования связей между тягачом и полуприцепом, уменьшая вероятность их складывания в процессе резкого или экстремального торможения. Обеспечивает курсовую устойчивость автопоезда и исправляет ситуацию, когда складывание тягача и полуприцепа уже произошло в экстремальных условиях, например, когда снижено или непостоянно сцепление шин колёс автопоезда с дорожным покрытием (мокрая или обледенелая дорога). Даёт возможность задавать траекторию движения полуприцепа относительно тягача, изменяя габаритный коридор при криволинейном движении автопоезда, облегчает водителю движение задним ходом. Конструкция ССУ обеспечивает не только блокировку положения полуприцепа от поворота относительно седельного тягача в горизонтальной плоскости на больших скоростях движения, но также и управление взаимным положением седельного тягача и полуприцепа. Вариант управляемого ССУ представлен на рис. 2 [11].

Безопасное движение автопоезда в различных условиях его эксплуатации достигается не только блокировкой положения полуприцепа от поворота относительно седельного тягача, но также и в управлении взаимным положением седельного тягача и полуприцепа. Блокировка составных частей автопоезда осу-

ществляется по сигналу с электронного блока управления (ЭБУ) системы автоматизированного управления движением (САУД) на электромагнитный распределитель 17, переводя его в положение II, в результате полости гидроцилиндра 14 запираются, и исключается возможность складывания звеньев автопоезда.

Для организации процесса "подруливания" ЭБУ получает сигналы с автомобильных датчиков, и происходит соответствующее генерирование управляющих сигналов на электромагнитный распределитель 17, электродвигатель 20 привода насоса 19 и воздействие самого ССУ. Нагнетаемое насосом 19 масло по соединительным трубопроводам гидравлической системы через секции III и IV электромагнитного распределителя 17 поступает и отводится от полостей гидроцилиндра 14, перемещая его поршень, воздействуя на кинематическую цепь. Датчики 7 положения рулевого колеса и 1 положения частей автопоезда определяют необходимое взаимное силовое воздействие гидравлической системы и кинематической цепи на части автопоезда при его движении в соответствии с заложенным в ЭБУ рабочим алгоритмом. При этом управляющие сигналы могут быть поданы как связанные с различными видами торможения автопоезда и дорожной ситуацией, так и принудительно — с панели водителя для постоянной ручной блокировки от поворота полуприцепа автопоезда, например, при движении автопоезда назад.

Сигнал с датчика удара 10, направляемый в ЭБУ автопоезда, свидетельствует о столкновении тягача с каким-либо препятствием и приводит к блокировке положения составных частей автопоезда, тем самым повышая курсовую устойчивость и предотвращение складывания автопоезда.

Мехатронное ССУ влияет на управление углами управляемых колёс полуприцепа, тем самым обеспечивая безопасность движения, задавая траекторию движения полуприцепа. Структурная схема управления углом складывания звеньев автопоезда и углами поворота управляемых колёс полуприцепа показана на рис. 3 и заключается в следующем.

1. Водитель задаёт скорость v_3 , поворот колёс тягача θ_{pk} , траекторию движения условной оси полу-

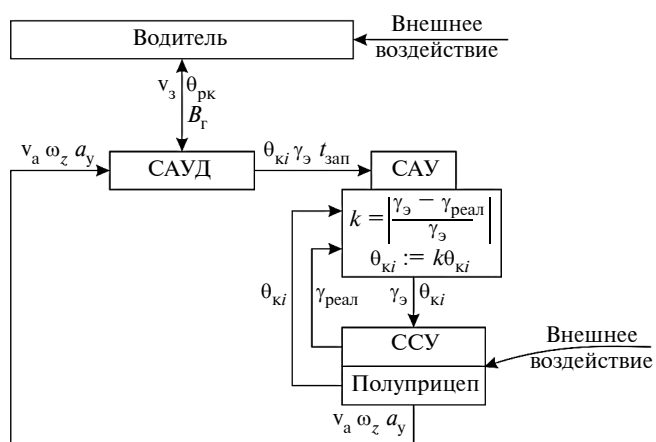


Рис. 3. Структурная схема управления углом складывания звеньев автопоезда и углами поворота управляемых колёс полуприцепа

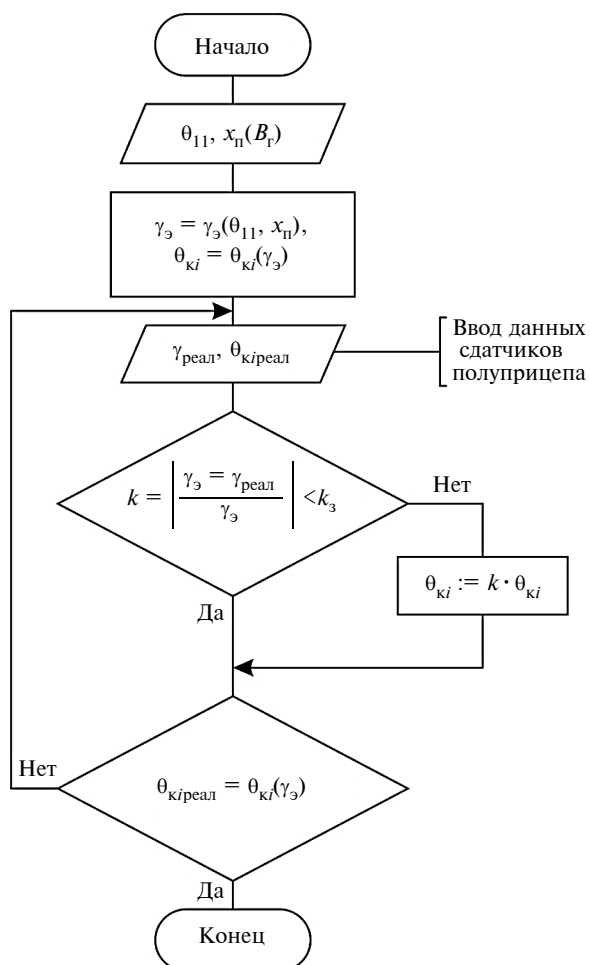


Рис. 4. Алгоритм управления углом складывания звеньев автопоезда и углами поворота управляемых колёс полуприцепа

прицепа $B_r(x_{п})$ (например, по траектории задней оси тягача либо по его внешнему или внутреннему габариту и т.д.).

2. Система автоматизированного управления движением автопоезда на основании сигналов шага 1 подаёт в систему автоматизированного управления (САУ) полуприцепом угол складывания звеньев автопоезда γ_3 и угол поворота управляемых колёс полуприцепа θ_{ki} .

3. Происходит сравнение заданного (эталонного) угла складывания звеньев автопоезда γ_3 с реальным $\gamma_{реал}$, и подаются соответствующие сигналы на исполнительные механизмы ССУ и колёса полуприцепа.

4. С датчиков ССУ и колёс полуприцепа в качестве обратной связи в САУ поступают сигналы для корректировки γ и θ_{ki} .

5. В качестве обратной связи с датчиков ССУ и колёс полуприцепа в САУД подаются сигналы о реальном движении автопоезда: скорость движения v_a , угловая скорость ω_z и боковое ускорение a_y полуприцепа, которые необходимы для корректировки γ_3 и θ_{ki} при воздействии на автопоезд внешней среды (например, изменение состояния опорной поверхности). Это необходимо, так как САУ полуприцепом работает в общей схеме динамической системы под управлением САУД.

В качестве исходных данных для определения угла складывания звеньев автопоезда и углов поворота управляемых колёс полуприцепа (рис. 4) принимаются угол θ_{11} поворота приведённого колеса передней оси тягача и расстояние от задней оси полуприцепа до места размещения его условной (приведённой) оси $x_{п}$ в зависимости от желаемой траектории движения полуприцепа с заданной габаритной полосой движения B_r . Зависимости $x_{п}(B_r)$ для характерных траекторий движения автопоезда предварительно закладываются в бортовую информационную систему автопоезда.

На основании исходных данных рассчитывается эталонный (расчётный) угол складывания γ_3 и в зависимости от него углы поворота управляемых колёс полуприцепа, корректировка которых при необходимости осуществляется корректирующим коэффициентом k . Корректировка осуществляется с учётом зоны нечувствительности рулевого управления заданного коэффициентом k_3 из условия устойчивости прямолинейного движения автопоезда, которая для угла складывания автопоезда находится в пределах $\gamma_{реал} = 1-3^\circ$ в зависимости от длины полуприцепного звена [12]. Изменение углов поворота управляемых колёс полуприцепа в зависимости от угла складывания звеньев автопоезда будет происходить до тех пор, пока они не обеспечат движение полуприцепа по траектории, заданной в исходных данных.

Таким образом, можно ожидать, что управляемое мехатронное седельно-сцепное устройство повысит безопасность эксплуатации большегрузного автопоезда за счёт регулирования связей между тягачом и полуприцепом. Его внедрение позволяет повысить также и уровень критических скоростей по опрокидыванию и вилянию прицепа автопоезда.

Литература

1. U02: Heavy Truck Rollover Characterization (Phase-A) Final Report. This project was funded by the NTRCI University Transportation Center under a grant from the U.S. Department of Transportation Research and Innovative Technology Administration (#DTRT06G-0043).
2. Winkler C.B., Ervin R.D. "Rollover of Heavy Commercial Vehicles", The University of Michigan Transportation Research Institute, UMTRI-99-19, Great Lakes Center for Truck and Transit Research, Ann Arbor, Michigan, August, 1999.
3. Иродов В.В. Исследование влияния эксплуатационных свойств (плавноности хода, тормозных свойств, устойчивости и управляемости) на производительность автопоездов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Иродов Валерий Владимирович. — М., 1982. — 230 с.
4. Козленко Ю.Л. Оценка устойчивости прямолинейного движения автопоезда с седельным тягачом // Автомобильная промышленность. — 1971. — № 7. — С. 23—24.
5. Тохтарь Г.И. Исследование поперечной устойчивости седельного автопоезда высокой проходимости: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Тохтарь Г.И. — Харьков, 1977. — 157 с.
6. Литвинов А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. — Машиностроение, 1989. — 240 с.
7. Abhishek S.T. Estimation of Steady State Rollover Threshold for High Capacity Transport Vehicles using RCV Calculation Method // Department of Applied Mechanics, Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems, Chalmers University of Technology. — Sweden, 2015. — 117 p.
8. Дональд В. Эблесон, президент SAE. Разрабатываемые технологии электромобилей. Доклад на 1-м международном семинаре SAE-REVA "Проблемы и перспективы развития электромобильной тех-

- ники". Москва, 25 августа 1999 г. Приводная техника. — 1999. — № 9/10. — С. 13—19.
9. Белоусов Б.Н. Прикладная механика наземных тягово-транспортных средств с мехатронными системами: Монография / Б.Н. Белоусов, С.Б. Шухман; под общ. ред. Б.Н. Белоусова. — М.: Агроконсалт, 2013. — 612 с.
10. Высоцкий М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетов, С.В. Харитончик. — Минск: Беларус. Навука, 2011. — 392 с.

11. Пат. 192314 Российская Федерация, МПК В62D 53/10. Седельно-цепное устройство с системой блокировки и обеспечения управляемости автопоезда / Бердников А.А.; патентообладатель Бердников А.А. — № 2019121840; заявл. 11.07.2019; опубл. 13.09.2019, Бюл. № 26. — 9 с.
12. Проектирование полноприводных колёсных машин: учебник для вузов; В 3 т. Т. 1 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Г.И. Гладов и др.; под ред. А.А. Полуняна. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 496 с.

УДК 629.3

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **В.П. ТАРАСИК**, канд. техн. наук **О.В. ПУЗАНОВА**
Белорусско-Российский университет (+375.29.185-36-45)

Предложена методика определения энергетических параметров электромотоцикла и оценки показателей его тягово-скоростных свойств. Применение методики показано на примере грузового электромотоцикла, предназначенного для городских перевозок. Приведены графики полученных характеристик. Показана необходимость применения автоматической многоступенчатой коробки передач в составе механической трансмиссии электромотоцикла.

Ключевые слова: электромотоцикл, тяговый электродвигатель, механическая трансмиссия, автоматическая коробка передач, характеристики электродвигателя, параметры трансмиссии, показатели тягово-скоростных свойств.

Tarasik V.P., Puzanova O.V. METHOD OF DETERMINING ELECTRIC VEHICLE ENERGY PARAMETERS AND CHARACTERISTICS

Method of determination of electric vehicle energy parameters and estimation of its traction-speed properties is proposed. The application of the technique is shown on the example of an electric car designed for urban freight transportation. Graphs of obtained characteristics are given. The need to use an automatic multi-speed gearbox as part of a manual transmission of an electric car is shown.

Keywords: electric vehicle, traction motor, mechanical transmission, automatic transmission, electric motor characteristics, transmission parameters, traction-speed properties indicators.

Одним из эффективных направлений снижения загрязнения автомобилями окружающей среды считается применение в конструкциях автомобилей электропривода. Сегодня это *электромотоциклы* и автомобили с *комбинированным источником энергии*, которые принято называть *гибридными*. Сдерживающим фактором распространения электромотоциклов служит ограниченная ёмкость современных накопителей электроэнергии — аккумуляторных батарей. Поэтому они наиболее эффективны при использовании в городских условиях. Гибридные же автомобили такого ограничения не имеют.

Структурная схема электромотоцикла показана на рис. 1. Основные конструктивные элементы электромотоцикла: накопитель электроэнергии — аккумуляторная батарея (АБ); тяговый электродвигатель (ТЭД); механическая трансмиссия (МТ); бор-

товое зарядное устройство (БЗУ); инвертор (И); преобразователь постоянного тока (ППТ); электронная система управления (ЭСУ), система датчиков (СД).

Аккумуляторные батареи используются в основном литий-ионные, с напряжением постоянного тока 300 В. В качестве двигателей применяют трёхфазные синхронные и асинхронные электрические маши-

ны переменного тока. Инвертор преобразует высокое напряжение аккумуляторной батареи АБ в трёхфазное напряжение переменного тока, необходимое для питания ТЭД. Преимущества электродвигателя: непрерывное гиперболическое изменение вращающего момента во всём диапазоне рабочих скоростей; работа в прямом и обратном направлениях без дополнительных устройств; простота конструкции; воздушное охлаждение; возможность работы в режиме генератора; КПД электродвигателя не менее 90 % (против 30 % у ДВС).

Трансмиссия электромотоцикла МТ представляет собой различные комбинации зубчатых редукторов в блоке с межколёсным дифференциалом Д.

Преобразователь постоянного тока ППТ предназначен для зарядки дополнительного аккумулятора (ДАБ) напряжением 12 В и питания различных потребителей (ПОТ) — электроусилитель рулевого управления, отопитель салона, кондиционер, система освещения, стеклоочистители, аудиосистема.

Электронная система управления (ЭСУ) выполняет функции, направленные на обеспечение безопасности, энергосбережения и комфорта пассажирам (управление высоким напряжением, регулирование тяговой характеристики, обеспече-

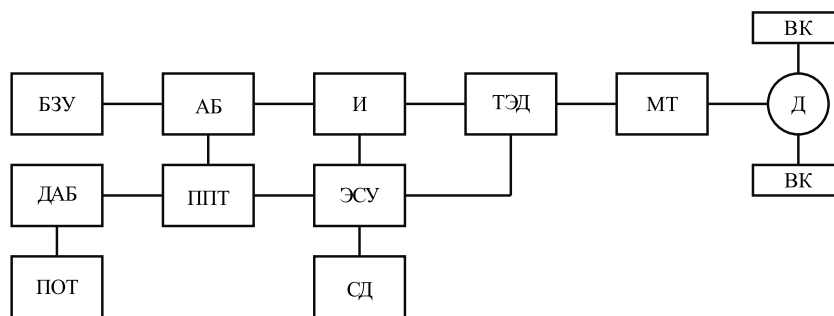


Рис. 1. Структурная схема электромотоцикла

Таблица 1

ние оптимального режима движения, управление плавным ускорением и рекуперативным торможением, контроль использования электроэнергии, оценка заряда батареи). Система располагает комплексом датчиков (СД), доставляющих информацию о положениях педали акселератора и педали тормоза, селектора направления движения (вперёд, реверс), давления в тормозной системе, степени зарядки аккумулятора. На основании сигналов датчиков блок управления обеспечивает оптимальные для конкретных условий характеристики движения электроавтомобиля. Рекуперация возвращает до 30 % энергии от уровня затрачиваемой на тяговом режиме.

Предусмотрены два режима зарядки аккумуляторной батареи — нормальный и ускоренный. Нормальный осуществляется от бытовой электросети мощностью 3...3,5 кВт. Время полной зарядки 8 часов. Ускоренная зарядка выполняется на специальных зарядных станциях мощностью до 50 кВт. Время зарядки до 80 % ёмкости батареи — не более 30 мин.

Цель данного исследования — разработка методики определения энергетических параметров электроавтомобиля и оценки показателей его тягово-скоростных свойств. Методика исследования — следующая.

Мощность электродвигателя $P_{эдв}$ (Вт), необходимая для движения электроавтомобиля с максимальной заданной скоростью v_{max} в характерных дорожных условиях, определяется по формуле 1 (табл. 1) с учётом формулы 2, в которой: f_v — коэффициент сопротивления качению при v_{max} [1]; h_v — значение продольного дорожного уклона для заданных модельных условий работы автомобиля. Для легковых автомобилей и дорожных грузовых принимают $h_v = 0$ (движение на горизонтальном участке дороги).

По величине $P_{эдв}$ из каталога выпускаемой продукции выбирается подходящий электродвигатель с номинальными значениями мощности $P_{эд.ном}$ и частоты вращения $n_{эд.ном}$. Фиксируются также значения максимального вращающего момента электродвигателя $M_{эд max}$ и соответствующее ему значение частоты вращения $n_{эд min}$.

№	Формула	Примечания
1	$P_{эдв} = \frac{m_a g \psi_v + k_w A_d v_{max}^2}{\eta_{эд} \eta_{тр}} v_{max}$	m_a — полная масса автомобиля, кг; k_w — коэффициент сопротивления воздуха, Н · с ² /м ⁴ ; A_d — лобовая площадь автомобиля, м ² ; v_{max} — максимальная скорость, м/с; $\eta_{эд}$ — КПД электродвигателя на номинальном скоростном режиме; $\eta_{тр}$ — КПД механической части трансмиссии; ψ_v — коэффициент суммарного дорожного сопротивления при скорости v_{max}
2	$\psi_v = f_v + h_v$	
3	$u_{тр.в} = \frac{\pi n_{эд.ном} r_{к0}}{30 v_{max}}$	$r_{к0}$ — радиус качения колёс, м
4	$u_{тр.н} = \frac{m_a g \psi_{max} r_{к0}}{M_{эд max} \eta_{эд} \eta_{тр}}$	—
5	$D_{кп} = u_{тр.н} / u_{тр.в}$	—
6	$q_{ср} = n_{кп} - \sqrt{D_{кп}} = n_{кп} - \sqrt{u_{тр.н} / u_{тр.в}}$	—
7	$n_{кп} = 1 + \frac{\ln D_{кп}}{\ln q_{ср}} = 1 + \frac{\ln u_{тр.н} - \ln u_{тр.в}}{\ln q_{ср}}$	—
8	$u_{тр i} = u_{тр i-1} / q_{ср}$	—
9	$M_{эд} = \begin{cases} M_{эд max} & \text{при } 0 \leq n_{эд} \leq n_{эд min}; \\ \frac{30 P_{эд.ном}}{\pi n_{эд}} & \text{при } n_{эд min} < n_{эд} \leq n_{эд max} \end{cases}$	—
10	$P_{эд} = M_{эд} \pi n_{эд} / 300$	—
11	$v_{ав} = \frac{3,6 \pi n_{эд} r_{к0}}{30 u_{тр.в}}$	—
12	$v_{ан} = \frac{3,6 \pi n_{эд} r_{к0}}{30 u_{тр.н}}$	—
13	$F_{тв} = M_{эд} u_{тр.в} \eta_{тр} \eta_{эд} / r_{к0}$	—
14	$D_v = \frac{F_{тв} - k_w A_d v_{ав}^2}{m_a g}$	—
15	$a_v = (D_v - \psi_v) g / \delta_{п.в.м}$	$\delta_{п.в.м}$ — коэффициент приведённой массы на высшей ступени коробки передач
16	$F_{тн} = M_{эд} u_{тр.н} \eta_{тр} \eta_{эд} / r_{к0}$	—
17	$D_y = \frac{F_{тн} - k_w A_d v_{ан}^2}{m_a g}$	—
18	$a_n = (D_n - \psi_v) g / \delta_{п.в.м}$	—
19	$\left. \begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \frac{F_t - m_a g f_v - k_w A_d v^2}{\delta_{п.м} m_a}; \\ \frac{ds}{dt} &= v; \\ \frac{dW}{dt} &= \frac{M_{эд} u_{тр} v}{r_{к0}} \end{aligned} \right\}$	W — изменение затраты энергии электродвигателем в процессе разгона электроавтомобиля, Дж

На электромобилях используют высокоскоростные электродвигатели переменного тока (синхронные и асинхронные) с частотой вращения $n_{\text{эд.ном}}$ в пределах 10 000... 20 000 об/мин [2, 3]. Рабочий диапазон частот вращения при изменении момента от $M_{\text{эд.макс}}$ до номинальной величины $M_{\text{эд.ном}}$ характеризуется соотношением $n_{\text{эд.ном}}/n_{\text{эд.мин}} = 3,5...4$. Диапазон изменения рабочей скорости автомобилей гораздо шире, особенно легковых автомобилей. Согласно техническим требованиям на тягово-скоростные свойства, автомобиль должен обеспечивать заданную максимальную скорость движения $v_{\text{макс}}$ и максимальный динамический фактор $D_{\text{макс}}$. Эти требования противоречивы. Выполнить их одновременно при использовании одноступенчатого редуктора трансмиссии практически невозможно. Это очевидно: для получения $v_{\text{макс}}$ передаточное число редуктора $u_{\text{тр}}$ необходимо снизить, а для $D_{\text{макс}}$, наоборот, повышать [1].

Требуемое значение $D_{\text{макс}}$ можно получить, применив электродвигатель большей мощности, чем необходимо для обеспечения $v_{\text{макс}}$. Но это приведёт к увеличению его массы и снижению КПД на высоких скоростях движения электромобиля.

Для эффективного использования энергетических характеристик тягового электродвигателя возникает необходимость применения в составе механической части трансмиссии электромобиля многоступенчатой автоматической коробки передач.

Передаточное число механической части трансмиссии на высшей ступени коробки передач $u_{\text{тр.в}}$ найдём из условия движения со скоростью $v_{\text{макс}}$ при $n_{\text{эд.ном}}$ по формуле 3. Передаточное число трансмиссии на низшей ступени коробки передач $u_{\text{тр.н}}$ определяется из условия преодоления максимального сопротивления движению, характеризуемого коэффициентом суммарного дорожного сопротивления $\psi_{\text{макс}} = f_0 + h_{\text{макс}}$, где f_0 — коэффициент сопротивления качению при малой скорости; $h_{\text{макс}}$ — максимальный преодолеваемый уклон дороги. Согласно ГОСТ Р 52280—2004 для одиночных автомобилей $\psi_{\text{макс}} = 0,25$, для авто-

поездов $\psi_{\text{макс}} = 0,18$. Передаточное число $u_{\text{тр.н}}$ определим по формуле 4, а диапазон передаточных чисел коробки передач — по формуле 5.

При равномерном распределении передаточных чисел коробки передач количество ступеней $n_{\text{кп}}$ зависит от выбора показателя средней плотности ряда передаточных чисел $q_{\text{ср}}$. Значение $q_{\text{ср}}$ связано с $D_{\text{кп}}$ и $n_{\text{кп}}$ выражением 6. Используя его, получаем формулу 7 для определения $n_{\text{кп}}$. Полученное значение $n_{\text{кп}}$ округляют до целого в ту или иную сторону и затем вычисляют $q_{\text{ср}}$ по формуле (6). Используя $q_{\text{ср}}$, определяют передаточные числа трансмиссии на всех ступенях коробки передач $u_{\text{тр.}i}$, $i = 1, 2, \dots, n_{\text{кп}}$, где $n_{\text{кп}}$ — номер высшей ступени коробки передач.

Передаточные числа трансмиссии связаны между собой соотношением 8. Например, при трёхступенчатой коробке передач в трансмиссии электромобиля её передаточные числа составят следующий ряд: $u_{\text{тр.1}} = u_{\text{тр.н}}$; $u_{\text{тр.2}} = u_{\text{тр.1}}/q_{\text{ср}}$; $u_{\text{тр.3}} = u_{\text{тр.в}}$.

Характеристики вращающего момента $M_{\text{эд}} = f(n_{\text{эд}})$ и мощности $P_{\text{эд}} = f(n_{\text{эд}})$ тягового электродвигателя вычисляются на основе выражений 9 и 10. (Мощность $P_{\text{эд}}$ — в Вт.)

Скорости движения электромобиля (км/ч) на высшей $v_{\text{ав}}$ и низшей $v_{\text{ан}}$ передачах определяются по формулам 11 и 12. Характеристики силы тяги $F_{\text{тр}} = f(v_{\text{ав}})$, развиваемой на осях ведущих колёс, динамического фактора $D_{\text{в}} = f(v_{\text{ав}})$ и ускорения автомобиля $a_{\text{в}} = f(v_{\text{ав}})$ при движении электромобиля на высшей передаче определяются по формулам 13—15, где $\delta_{\text{п.м.в}}$ — коэффициент приведённой массы на высшей ступени коробки передач, учитывающий влияние вращающихся масс механической трансмиссии на величину кинетической энергии автомобиля [1]. При движении на низшей передаче формулы для вычисления этих же характеристик аналогичны: 16, 17, 18. В формулах 14 и 17 скорости $v_{\text{ав}}$ и $v_{\text{ан}}$, м/с.

Для оценки тягово-скоростных свойств электромобиля необходимо построить характеристики его разгона и определить показатели эффективности, предусмотренные ГОСТ 22576—90.

Движение электромобиля при разгоне описывается системой дифференциальных уравнений 19, где W — изменение затраты энергии электродвигателем в процессе разгона электромобиля.

Характеристика силы тяги ведущих колёс электромобиля $F_{\text{т}}$ в процессе разгона изменяется в зависимости от скоростного режима тягового электродвигателя и номера ступени коробки передач трансмиссии. Режим работы электродвигателя характеризуется вращающим моментом $M_{\text{эд}}$ и частотой вращения $n_{\text{эд}}$. Интегрирование системы уравнений 19 позволяет построить характеристики разгона $v = f(t)$, $s = f(t)$ и затраты энергии электродвигателя на разгон $W = f(t)$.

Рассмотрим графики изменения $P_{\text{эд}} = f(n_{\text{эд}})$, $M_{\text{эд}} = f(n_{\text{эд}})$ и $F_{\text{т}} = f(v)$ на конкретном примере. Предположим, что исследуемый электромобиль грузовой, предназначенный для работы в городских условиях, его параметры: полная масса $m_{\text{а}} = 10\,000$ кг; максимальная скорость 80 км/ч; радиус качения колёс $r_{\text{к0}} = 0,39$ м; лобовая площадь $A_{\text{л}} = 5$ м²; коэффициент сопротивления воздуха $k_{\text{в}} = 0,4$ Н · с²/м⁴; коэффициент сопротивления качению при малой скорости $f_0 = 0,012$.

Примем следующие параметры характеристик электродвигателя и трансмиссии электромобиля: номинальная и минимальная частоты вращения электродвигателя $n_{\text{эд.ном}} = 10\,000$, $n_{\text{эд.мин}} = 2500$ об/мин; КПД электродвигателя и механической трансмиссии соответственно $\eta_{\text{эд}} = 0,94$, $\eta_{\text{тр}} = 0,922$.

По формуле 1 определим необходимую мощность электродвигателя $P_{\text{эд.в}}$ для проектируемого электромобиля: $P_{\text{эд.в}} = 62,463$ кВт. Округляем полученное значение и принимаем величину номинальной мощности $P_{\text{эд.ном}} = 65$ кВт. Максимальный момент электродвигателя $M_{\text{эд.макс}}$ будет при $n_{\text{эд.мин}}$. Его значение вычисляется по формуле 20 (табл. 2).

Так как исследуемый электромобиль сравнительно тихоходный, ограничимся двухступенчатой коробкой передач. Передаточные числа трансмиссии определим по формулам (3) и (4): $u_{\text{тр.н}} = 44,450$; $u_{\text{тр.в}} = 18,378$.

По формулам 9 и 10 вычисляем характеристики $M_{эд} = f(n_{эд})$ и $P_{эд} = f(n_{эд})$. При изменении частоты вращения электродвигателя в пределах $n_{эд \min} \leq n_{эд} \leq n_{эд \text{ном}}$ его вращающий момент изменяется по гиперболе, а мощность остаётся постоянной, равной $P_{эд \text{ном}}$. Графики этих характеристик представлены на рис. 2, а.

Скорости движения на высшей $v_{ав}$ и низшей $v_{ан}$ передачах в зависимости от изменения частоты вращения электродвигателя определяются по формулам 11 и 12, а соответствующие им значения силы тяги $F_{ТВ}$ и $F_{ТН}$ — по формулам 13 и 16. Полученные графики тяговых характеристик электромобиля изображены на рис. 2, б. В процессе разгона электромобиля после достижения скорости v_2 происходит автоматическое переключение на высшую передачу. При увеличении дорожного сопротивления и снижении по этой причине скорости движения до $v \leq v_4$ (например, при преодолении подъёма) автоматически включается низшая передача.

На рис. 3, а представлен график динамического фактора автомобиля $D = f(v)$, а на рис. 3, б — график ускорения $a = f(v)$.

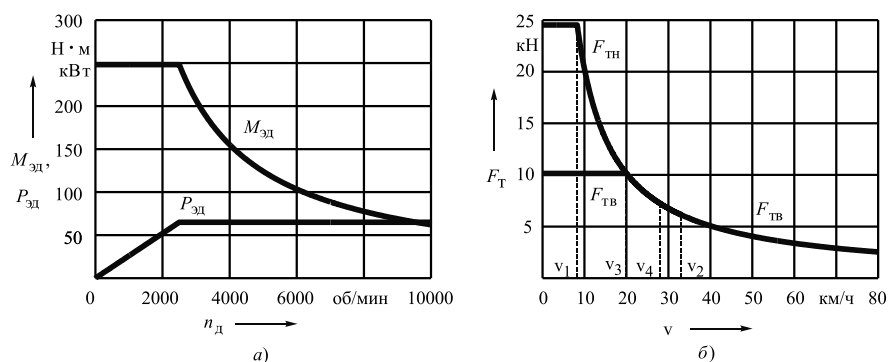


Рис. 2. Графики характеристик электродвигателя (а) и тяговая характеристика электромобиля (б)

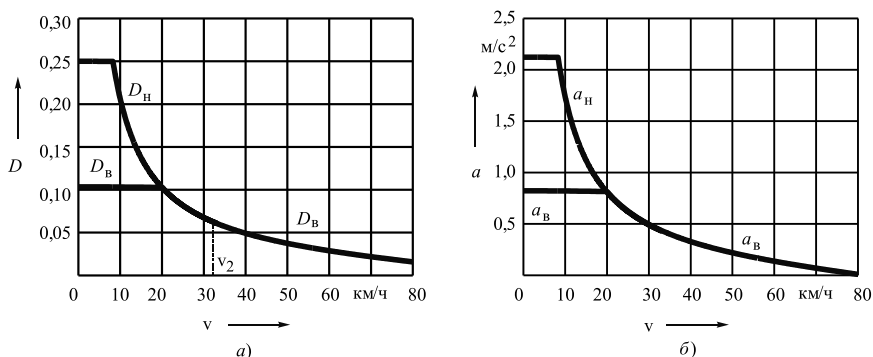


Рис. 3. Динамическая характеристика электромобиля (а) и характеристика ускорения (б)

При моделировании разгона электромобиля необходимо на каждом шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений 19

вычислять силу тяги $F_Т$. Но сила тяги, согласно выражениям 13 и 16, зависит от вращающего момента электродвигателя $M_{эд}$, который изменяется в зависимости от частоты вращения $n_{эд}$ в соответствии с выражением 9. При этом функция $M_{эд} = f(n_{эд})$ неоднозначная, состоящая из двух разнородных составляющих, что требует определения координаты точки перехода между ними. В связи с изложенным алгоритм вычислений переменных $n_{эд}$, $M_{эд}$ и $F_Т$ включает систему нелинейных функций 21–23.

Пороговые значения скорости v_1 и v_2 отмечены на рис. 2, б: v_1 соответствует частоте вращения электродвигателя $n_{эд \min}$ в точке перехода от $M_{эд \max}$ на гиперболическую ветвь момента на низшей передаче; v_2 — скорость электромобиля, при которой происходит переключение на высшую ступень коробки передач.

Графики характеристик разгона моделируемого электромобиля представлены на рис. 4, а и б. На них отмечены показатели его тягово-скоростных свойств: t_{400} — время разгона на участке пути 400 м; t_{1000} — время разгона на участке 1000 м; t_v —

Таблица 2

№	Формула	Примечания
20	$M_{эд \max} = \frac{30P_{эд \text{ном}}}{\pi n_{эд \min}}$	—
21	$n_{эд} = \begin{cases} 30u_{тр.н}v/(\pi r_{к0}) & \text{при } v \leq v_2; \\ 30u_{тр.в}v/(\pi r_{к0}) & \text{при } v > v_2 \end{cases}$	—
22	$M_{эд} = \begin{cases} M_{эд \max} & \text{при } v \leq v_1; \\ 30P_{эд \text{ном}}/(\pi n_{эд}) & \text{при } v > v_1 \end{cases}$	—
23	$F_Т = \begin{cases} M_{эд}u_{тр.н}\eta_{тр}\eta_{эд}/r_{к0} & \text{при } v \leq v_2; \\ M_{эд}u_{тр.в}\eta_{тр}\eta_{эд}/r_{к0} & \text{при } v > v_2 \end{cases}$	—
24	$\eta_{эд} = b_0 + b_1 n_{эд}^* + b_2 (n_{эд}^*)^2 + b_3 (n_{эд}^*)^3 + b_4 (n_{эд}^*)^4 + b_5 (n_{эд}^*)^5$ $n_{эд}^* = n_{эд}/n_{эд \text{ном}}$	$\eta_{эд}$ — КПД электродвигателя; $n_{эд}^*$ — относительная частота вращения электродвигателя; b_0, b_1, \dots, b_5 — коэффициенты регрессии
25	$W_{р.д} = \frac{(m_a g f_v + k_w A_k v^2) s_{р.д}}{\eta_{эд} \eta_{тр}}$	$s_{р.д}$ — длина пути равномерного движения, м
26	$W_{рек} = (E_{к.н} - E_{к.к})\eta_{эд}\eta_{тр} = 0,5m_a \delta_{п.м} (v_n^2 - v_k^2)\eta_{эд}\eta_{тр}$	$E_{к.н}, E_{к.к}$ — начальное и конечное значения кинетической энергии электромобиля; v_n, v_k — начальная и конечная скорости на режиме рекуперации, м/с

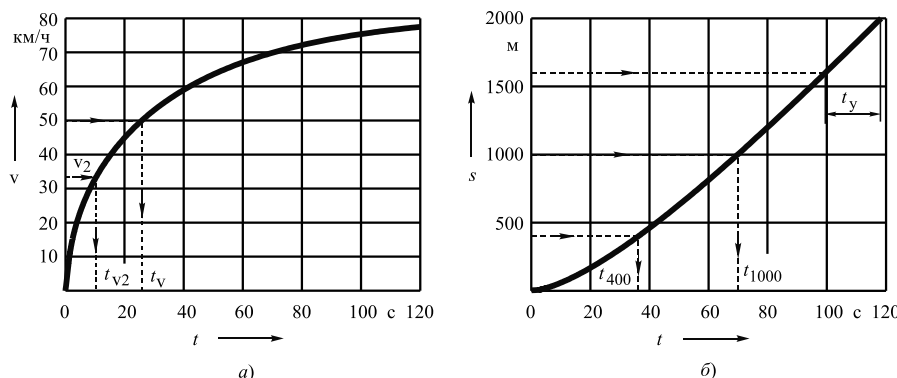


Рис. 4. Графики разгона электромобиля: а — скорость v ; б — перемещение s

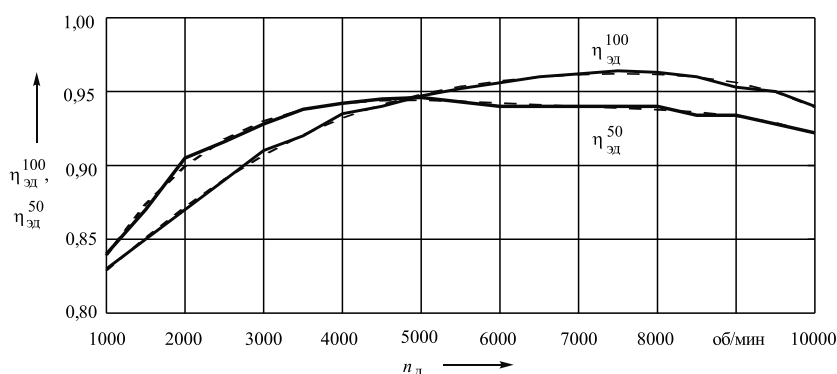


Рис. 5. Графики зависимостей КПД электродвигателя от уровня нагрузки

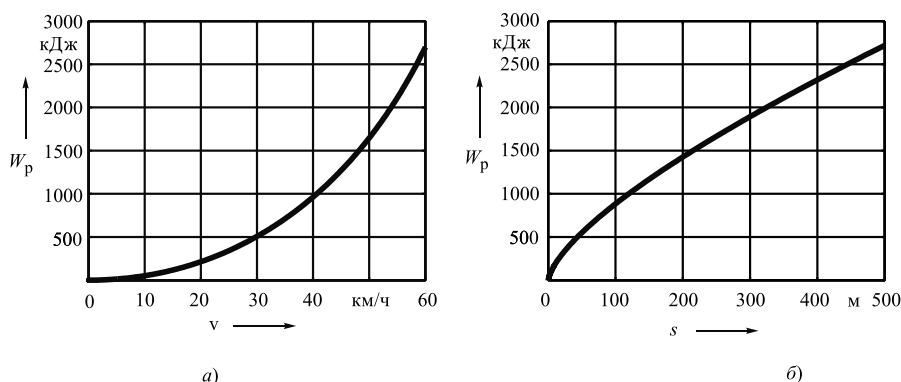


Рис. 6. Затрата энергии на режиме разгона в зависимости: а — от скорости; б — от перемещения

время разгона до скорости 50 км/ч; $v_{к\max}$ — конечная скорость на мерном участке 2000 м; $v_{y\max}$ — условная максимальная скорость: $v_{y\max} = 400/t_y$ [1]. Значения показателей тягово-скоростных свойств электромобиля приведены в табл. 3. Для грузового автомобиля, используемого в городских условиях, значения полученных показателей вполне приемлемые.

Приведенные на рис. 2–4 графики характеристик получены при

постоянным значением КПД электродвигателя $\eta_{эд} = 0,94$. Однако на самом деле КПД электродвигателя существенно зависит от нагрузки и частоты вращения электродвигателя. Представление об этих зависимостях можно составить на основе

электромеханической характеристики электродвигателя автомобиля Nissan Leaf [3]. Используя эту характеристику, определим зависимость КПД электродвигателя при двух уровнях нагрузки: 100 и 50 %. Для этих условий получены уравнения регрессии 5-го порядка (формулы 24).

При полной нагрузке $b_0 = 0,78397$; $b_1 = 0,42583$; $b_2 = 0,4430$; $b_3 = -2,3895$; $b_4 = 2,7798$; $b_5 = -1,1038$. При нагрузке 50 %: $b_0 = 0,73565$; $b_1 = 1,3006$; $b_2 = -2,9282$; $b_3 = 2,7782$; $b_4 = -0,86239$; $b_5 = -0,3023$.

На рис. 5 графики КПД при нагрузке 100 % обозначены $\eta_{эд}^{100}$, а при нагрузке 50 % — $\eta_{эд}^{50}$. Сплошные линии — исходные данные, штриховые — по уравнениям регрессий 24. Из рисунка следует, что снижение нагрузки электродвигателя приводит к повышению его КПД при низких значениях частоты вращения $n_{эд}$, соответствующих максимальному моменту $M_{эд\max}$, что обусловлено уменьшением тепловых потерь, но при этом снижается КПД в области высоких значений $n_{эд}$, характерных для эксплуатационных режимов движения. Приведённые графики подтверждают целесообразность и эффективность применения многоступенчатой коробки передач в составе механической трансмиссии электромобиля.

Важным положительным свойством электромобиля является рекуперативный режим торможения, позволяющий использовать накопленную кинетическую энергию разгона. Для оценки эффективности этого режима рассмотрим пример. Примем интервал движения между остановками $s_k = 1,5$ км. Автомобиль вначале интенсивно разгоняется до скорости $v = 60$ км/ч, затем движется с постоянной скоростью и заканчивает движение на режиме электродинамического торможения. На режиме разгона используем уравнения 19. Графики, отображающие затраты энергии за время разгона W_p , представлены на рис. 6.

Таблица 3

t_{400}, c	t_{400}, c	t_v, c	$v_{к\max}, км/ч$	$v_{y\max}, км/ч$
36,2	70,0	25,87	77,4	75,54

При равномерном движении затрата энергии вычисляется по формуле 25. Энергия рекуперации, поступающая в накопитель электромотоцикла, — по формуле 26. Энергия по этим формулам вычисляется в Дж.

В рассмотренном примере затраты энергии на разгон и перемещение на участке маршрута составили $W_p + W_{p.d} = 2710 + 2175 = 4885$ кДж, а энергия рекуперации $W_{рек} = 1276$ кДж, в результате эффективность рекуперации оказалась равной 26,1 %.

Таким образом, разработана методика определения энергетических

параметров электромотоцикла и оценки показателей его тягово-скоростных свойств; предложены формулы определения необходимой мощности электродвигателя, получения тяговой характеристики и характеристик разгона электромотоцикла. Показано, что для выполнения технических требований на тягово-скоростные свойства электромотоцикла в механической части его трансмиссии необходимо использовать многоступенчатую коробку передач с автоматической системой управления. На примере грузового электромотоцикла показана высокая эффек-

тивность его использования в городских условиях.

Литература

1. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В.П. Тарасик. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
2. Поддубко С.Н. Применение коробок передач в силовых приводах электротранспорта / С.Н. Поддубко, Н.Н. Ишин, А.М. Гомон, А.С. Скороходов, П.Э. Шабанов. — Механика машин и материалов. — Минск, 2020. — № 3(52). — С. 5—10.
3. Laitinen H. Improving electric vehicle energy efficiency with two-speed gearbox: abstract of thesis ... for the degree of master of science in technology [Electronic resource] / H. Laitinen. — Espoo, 2017. — 59 p.

УДК 621.113.066

РАСЧЁТ РАБОТЫ БУКСОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО СЦЕПЛЕНИЯ

Канд. техн. наук **БАЙБАКОВА А.А.**
Тихоокеанский ГУ (4212.37-51-99)

Рассматривается применение графоаналитического метода для расчёта сцепления с учётом рабочих процессов, происходящих при его буксовании, позволяющего качественно улучшить результаты.

Ключевые слова: сцепление, работа буксования, надёжность, долговечность, износостойкость, срок службы сцепления.

Baibakova A.A. CALCULATION OF THE TOWING OF THE AUTOMOTIVE CLUTCH

This article uses a graphical-analytical method for calculating clutch slippage, taking into account the work processes occurring in the clutch when slipping, which will qualitatively improve the calculation results.

Keywords: clutch, slip operation, reliability, durability, wear resistance, clutch service life.

Износ сцепления зависит в основном от числа его включений и выключений. При каждом включении сцепления совершается работа буксования, которая переходит в тепло, а при повышенных температурах износ фрикционных накладок резко увеличивается. Например, с увеличением температуры с 20 до 100 °С износ некоторых накладок возрастает примерно вдвое.

Особенно часто пользуются сцеплением в городских условиях эксплуатации. В этом случае на каждые 100 км пробега приходится включать сцепление до 600 раз для одиночных грузовых автомобилей, до 700 раз — для автопоездов, а водитель автобуса пользуется сцеплением порядка 2000 раз за смену [9].

В литературе имеются расчётные формулы работы буксования, базирующиеся на статистической обработке экспериментальных данных, но без учёта рабо-

чих процессов в сцеплении. Вот два варианта таких формул:

$$L_6 = \frac{M_{e\max} J_a \omega_e b}{2/3(M_{e\max} - M_\psi)}; \quad L_6 = \frac{0,5 J_a M_{e\max} \omega_e^2}{M_{e\max} - M_\psi}. \quad (1)$$

Здесь $M_{e\max}$ — максимальный крутящий момент двигателя; M_ψ — момент сопротивления движению автомобиля при трогании, приведённый к ведущему валу коробки передач; J_a — момент инерции автомобиля, приведённый к ведущему валу коробки передач; $\omega_e = 0,75\omega_N$ — для дизелей; $\omega_e = \frac{\omega_N}{3} + 150$ — для бензиновых двигателей; $b = 1,23$ для бензиновых двигателей, а для дизелей $b = 0,72$. Расчёт проводится для легковых автомобилей и автопоездов на первой передаче, для грузовых одиночных автомобилей — на второй передаче. Результаты расчётов по приведённым формулам примерно одинаковы.

Большую точность имеет графоаналитический метод расчёта.

Как известно, работа буксования происходит как при трогании с места, так и при переключении передач. Наибольшая работа буксования — при трогании автомобиля с места. Именно для этого случая проводится расчёт работы буксования.

Работа, совершаемая водителем при включении сцепления, эквивалентна площади заштрихованных фигур, показанной на упругой характеристике нажимных пружин (рис. 1).

Согласно рисунку работа водителя по включению сцепления может быть описана формулой

$$L_{\text{вод}} = \frac{0,5(P_{\text{пр}} + P_{\text{пр.выкл}})zS}{\eta_{\text{пр}}},$$

где z — число нажимных пружин; S — ход нажимного диска, $S = i\delta + m$; i — число ведомых дисков; δ — зазор между трущимися поверхностями дисков; m — деформация ведомого диска во включённом состоянии

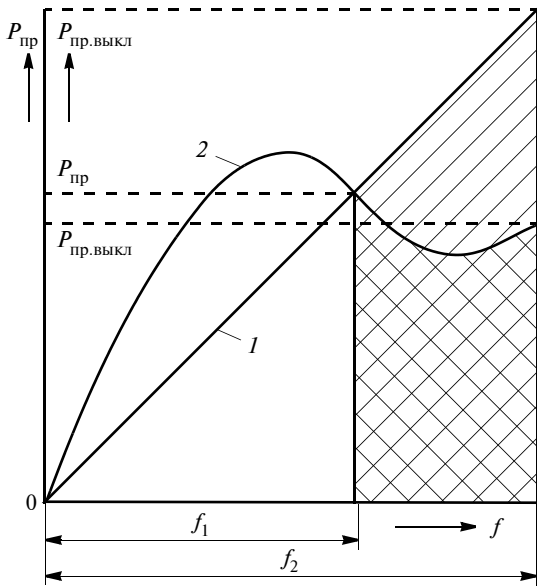


Рис. 1. Упругая характеристика нажимных пружин сцепления:
1 — цилиндрическая нажимная пружина; 2 — диафрагменная пружина

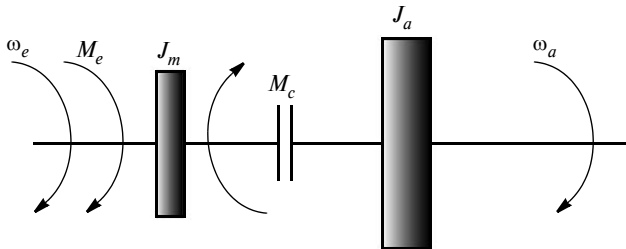


Рис. 2. Двухмассовая модель автомобиля

(для упругого диска $m = 1,0 \dots 1,5$ мм; а для неупругого $m = 0,15 \dots 0,25$ мм); $\eta_{пр}$ — КПД привода сцепления.

Рассмотрим двухмассовую модель автомобиля (рис. 2), состоящую из двух систем: *A* — система двигатель—сцепление и *B* — система сцепление—автомобиль. I_M — момент инерции маховика двигателя и ведущих частей сцепления; I_a — момент инерции автомобиля, приведённый к первичному валу коробки передач; M_e — крутящий момент двигателя; M_c — момент, передаваемый сцеплением; M_ψ — момент сопротивления движению автомобиля, приведённый к первичному валу коробки передач; ω_e, ω_a — соответственно угловая скорость коленчатого вала двигателя и первичного вала коробки передач.

Для упрощения расчётов приняты следующие допущения: крутящий момент двигателя мгновенно принимает максимальное значение и остаётся постоянным $M_e = M_{e\max} = \text{const}$; момент, передаваемый сцеплением, остаётся постоянным, $M_c = \text{const}$; момент сопротивления движению автомобиля также постоянен $M_\psi = \text{const}$. Он рассчитывается по формуле

$$M_\psi = \frac{\psi(G_a + G_{п})r_d}{u_{тр}\eta_{тр}}$$

где G_a и $G_{п}$ — вес автомобиля и прицепа соответственно; ψ — коэффициент суммарного дорожного сопро-

тивления движению; r_d — динамический радиус колеса; $\eta_{тр}$ — коэффициент полезного действия трансмиссии; $u_{тр}$ — передаточное число трансмиссии.

Баланс моментов, приложенных к коленчатому валу и первичному валу коробки передач, таков: к коленчатому валу: $M_c = M_{e\max} + \varepsilon_m J_m$; к первичному валу КП $M_c = M_\psi + \varepsilon_a J_a$, где $\varepsilon_m, \varepsilon_a$ — соответственно угловое замедление и ускорение коленчатого вала и первичного вала коробки передач. Тогда

$$\varepsilon_m = \frac{M_c - M_{e\max}}{J_m}; \quad \varepsilon_a = \frac{M_c - M_\psi}{J_a}.$$

Графически процесс трогания автомобиля с места при сделанных предположениях представлен на рис. 3.

Примем, что закон изменения угловых скоростей коленчатого вала двигателя и первичного вала коробки передач линейный, тогда в любой промежуточной точке $\omega_e = \omega_0 - \varepsilon_m dt$; $\omega_a = 0 + \varepsilon_a dt$.

В конце буксования сцепления $\omega_e = \omega_a = \omega_0$. Тогда:

$$t_0 = \frac{\omega_0}{\varepsilon_m + \varepsilon_a},$$

где t_0 — время пробуксовки сцепления. Подставив найденные значения для ε_m и ε_a , получим

$$t_0 = \frac{\omega_0 J_a J_m}{M_c \left[J_a \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) + J_m \left(1 - \frac{M_\psi}{M_c} \right) \right]}$$

Элементарная работа буксования, совершаемая на коленчатом валу и первичном валу коробки передач за время dt : на коленчатом валу $dL_e = M_c \omega_m dt$; на первичном валу коробки передач $dL_a = M_c \omega_a dt$.

Работу буксования за время dt описывает формула $dL = dL_e - dL_a = M_c(\omega_m - \omega_a)dt$. За период включения работа буксования сцепления:

$$L_\delta = M_c \int_0^{t_0} (\omega_m - \omega_a) dt.$$

Величина интеграла представляет собой площадь заштрихованного треугольника на рис. 3.

Таким образом:

$$L_\delta = M_c \frac{\omega_0 t_0}{2}.$$

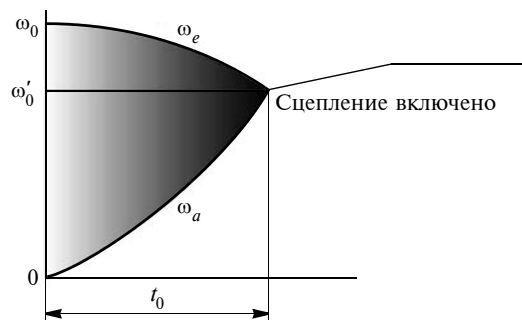


Рис. 3. График трогания автомобиля с места

Подставляем значение t_0 , получим:

$$L_{\delta} = \frac{\omega_0^2 J_a J_m}{2 \left[J_a \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) + J_m \left(1 - \frac{M_{\psi}}{M_c} \right) \right]},$$

где $\omega_0 = 0,75\omega_N$ — для дизельных двигателей; $\omega_0 = 0,5\omega_N$ — для бензиновых двигателей; ω_N — угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальной мощности двигателя; M_{ψ} — момент сопротивления движению при трогании, приведённый к ведущему валу коробки передач (для горизонтальной асфальтовой дороги $\psi = 0,015...0,020$).

Расчёт производится для легковых автомобилей на первой передаче, для грузовых автомобилей — на второй передаче. При расчёте работы буксования использован графоаналитический метод на основе анализа процесса трогания автомобиля с места и поэтому имеем чёткий физический смысл.

Анализ работы буксования, рассчитанной по данной методике показывает, что L_{δ} резко возрастает при трогании автомобиля с места, при высокой частоте вращения коленчатого вала (ω_0), большой массе автомобиля, с прицепом и при трогании автомобиля с места на высшей передаче ($u_{тр}$), а также при увеличении J_m , M_{ψ} , но L_{δ} уменьшается при увеличении β , M_c . Ра-

бота, рассчитанная по данной методике, — минимально возможная, а динамические нагрузки — максимальные. От плавности включения расчётная работа не зависит (включение мгновенное).

Литература

1. Малаховский Я.Э., Лапин А.А. Сцепления. — М.: Машгиз, 1960. — 191 с.
2. Оsepчугов В.В. Автомобиль. Анализ конструкции и элементы расчёта / В.В. Оsepчугов, А.К. Фрумкин. — М.: Машиностроение, 1989. — 304 с.
3. Вахламов В.К. Автомобили: эксплуатационные свойства / В.К. Вахламов. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 240 с.
4. Осипов В.И. Методические указания к курсовому проекту по теме "Рабочие процессы и расчёты агрегатов автомобиля". Сцепление / В.И. Осипов [и др.]. — М.: МАДИ, 1989. — 53 с.
5. Лукин П.П. Конструирование и расчёт автомобиля / П.П. Лукин [и др.]. — М.: Машиностроение, 1984. — 376 с.
6. Гришкевич А.И. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / А.И. Гришкевич. — М.: Машиностроение, 1984. — 272 с.
7. Павлишин С.Г. Планировочные решения поста независимой оценки объёмов восстановительного ремонта транспортных средств. Материалы IX Международной науч.-практ. конф. (Хабаровск—Владивосток, 19—23 сент. 2018 г.) / под общ. ред. П.П. Володькина. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. Гос. Ун-та, 2018. — С. 225—232.
8. Нарбут А.Н. Автомобили. Рабочие процессы и расчёт механизмов и систем / А.М. Нарбут. — М.: Издательский центр "Академия", 2007. — 256 с.
9. Конструкция автомобиля. Шасси: учебник / под ред. А.Л. Карунина. — М.: Изд-во МГТУ "МАМИ", 2000.

УДК 629.36-514.5

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО УВОДА

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

Сформулированы основные положения, касающиеся геометрического увода. Разработана математическая модель для оценки влияния силового и геометрического увода на суммарный увод эластичных колёс. Произведена оценка работы геометрического и суммарного увода при повороте рулевого колеса от нейтрального положения до упора. Отмечено, что при определённых условиях силовой и геометрический увод компенсируют друг друга, уменьшая износ шин.

Ключевые слова: транспортные средства специального назначения; рулевое управление; угол увода; метод итерационного моделирования; уравнение сферы; уравнение окружности.

Malinovsky M.P. BASIC PROVISIONS OF THE THEORY OF GEOMETRIC SLIP

The author has formulated the main provisions concerning geometric slip. A mathematical model has been developed to assess the mutual influence of force and geometric slip on the total slip of elastic wheels. The work of the geometric and total slip when the steering wheel is turned from the neutral position to the stop is evaluated. It is noted that under certain conditions the force and geometric slip compensate each other, reducing tire wear.

Keywords: special purpose vehicles; steering; slip angle; iterative modeling method; sphere equation; circle equation.

Явление увода, т.е. боковое скольжение колёс, возникает при повороте колёсного автотранспортного средства с эластичными шинами и приводит к повышенному

износу шин. Исследованию **силового увода**, возникающего вследствие действия боковой силы, посвятили свои диссертации и научные статьи Я.М. Певзнер [1], Е.А. Чудаков [2],

В.А. Иларионов [3], А.С. Литвинов [4], А.А. Хачатуров [5], Д.А. Антонов [6], Е.В. Балакина [7] и многие другие отечественные учёные. Понятие **кинематического увода**, связанного с углами установки колёс и кинематикой подвески, сформулировано Г.И. Гладовым, А.М. Петренко [8] и косвенно обозначается в работе Б.Н. Белоусова, С.Д. Попова как "креновая поворачиваемость" [9]. Увод, вызванный "несоответствием углов поворота колёс расчётным значениям для чистого качения вследствие геометрических свойств рулевой трапеции" [10], упоминается только в работах Ю.А. Брянского [11].

Между тем **геометрический увод** — несоответствие фактических значений поворота колёс расчётным значениям для чистого качения — является неотъемлемым свойством любой традиционной рулевой трапеции. Автор статьи поставил перед собой задачу сформулировать основные положения, касающиеся геометрического увода, и оценить его взаимное влияние с силовым уводом.

Таблица 1

Оценивается геометрический увод относительно базового колеса, в качестве которого принимается управляемое колесо с большим углом поворота, т.е. внутреннее относительно центра поворота. Для симметричной трапеции с реечным рулевым механизмом непринципиально, правое или левое колесо считать базовым. При повороте налево левые колёса являются внутренними относительно центра поворота, а при повороте направо — наружными, и наоборот. При наличии рулевого механизма с выходным звеном вращательного типа, что характерно для грузовых АТС, в качестве базового всегда принимается левое переднее колесо (с углом поворота $\alpha_{1л}$), с которым соединена продольная тяга рулевого привода.

По сути, угол геометрического увода δ_r — это разница между **расчётным** (идеальным) углом поворота правого переднего колеса $\alpha_{1п.р}$, при котором радиусы поворота сходятся в едином (расчётном) центре поворота O_p , и его **фактическим** углом поворота $\alpha_{1п.ф}$, получаемым из кинематического расчёта рулевого привода без учёта силового и кинематического увода.

Оптимальное соотношение между углами поворота левого (внутреннего) и правого (наружного) колёс определяется из геометрических характеристик АТС (рис. 1). Средний радиус поворота задней оси при заданном угле поворота базового колеса $\alpha_{1л}$ находится по формуле 1 (табл. 1), расчётный угол поворота правого переднего колеса — по формуле 2.

Как известно, угол силового увода δ_c считается положительным, когда он уменьшает фактический угол поворота управляемого колеса относительно расчётного значения. Аналогично будем считать угол геометрического увода положительным ($\delta_r > 0$), если он уменьшает фактический угол $\alpha_{1п.ф}$ относительно $\alpha_{1п.р}$, и отрицательным ($\delta_r < 0$), если увеличивает. Тогда справедливо выражение 3.

Суммарный угол увода будет определяться по формуле 4. Очевидно, что при $\delta_r > 0$ суммарный увод будет увеличиваться, а при $\delta_r < 0$ — уменьшаться, т.е. во втором случае сило-

№	Формула	Примечания
1	$R_{2cp} = \frac{L}{\operatorname{tg}\alpha_{1л}} + 0,5l_{ш}$	R_{2cp} — средний радиус поворота задней оси, м; L — база АТС, м; $\alpha_{1л}$ — угол поворота базового колеса; $l_{ш}$ — расстояние между шкворнями передней оси, м
2	$\alpha_{1п.р} = \alpha_{1л} \frac{\operatorname{arctg} \frac{L}{R_{2cp} + 0,5l_{ш}}}{\operatorname{arctg} \frac{L}{R_{2cp} - 0,5l_{ш}}}$	$\alpha_{1п.р}$ — расчётный угол поворота переднего правого колеса
3	$\delta_r = \alpha_{1п.р} - \alpha_{1п.ф}$	δ_r — угол геометрического увода
4	$\delta = \delta_c \pm \delta_r$	δ — угол суммарного увода; δ_c — угол силового увода
5	$\varphi_{li} = \frac{\theta_i}{U_0}$	φ_{li} — угол поворота сошки; θ_i — положение рулевого колеса на данной итерации; U_0 — передаточное число рулевого механизма
6	$O_{1X} = S_p \cos \varphi_{20}$	S_p — длина поворотного рычага, м; φ_{20} — начальное положение поворотного рычага
7	$O_{1Y} = O_1 O_2$	$O_1 O_2$ — расстояние от вала сошки до шкворня переднего левого колеса, м
8	$O_{1Z} = l_c \cos \varphi_{10}$	l_c — длина сошки, м; φ_{10} — начальное положение сошки
9	$\begin{cases} (x - A_{1X})^2 + (y - A_{1Y})^2 + (z - A_{1Z})^2 = S_r^2; \\ x^2 + y^2 = S_p^2 \end{cases}$	S_r — длина поперечной тяги; S_p — длина поворотного рычага, м
10	$S_r = O_{1Y} - l_c \sin \varphi_{10} - S_p \sin \varphi_{20}$	—
11	$A_{1Y} = O_{1Y} + l_c \sin(\varphi_{10} + \varphi_{20})$	—
12	$A_{1Z} = O_{1Z} - l_c \cos(\varphi_{10} + \varphi_{1i})$	—
13	$\varphi_2 = \operatorname{arctg} \frac{A_{2Y}}{A_{2X}}$	φ_2 — положение поворотного рычага
14	$\alpha_{1л} = \varphi_2 - \varphi_{20}$	—
15	$A_{3X} = l_6 \sin(\Phi + \alpha_{1л})$	l_6 — длина бокового рычага, м; Φ — угол наклона бокового рычага
16	$A_{3Y} = -l_6 \cos(\Phi + \alpha_{1л})$	—
17	$A_{3X3} = l_6 \sin(\Phi + \alpha_{1л}) - l_{ш}$	—
18	$\begin{cases} (x - A_{3X3})^2 + (y - A_{3Y3})^2 = l_r^2; \\ x^2 + y^2 = l_6^2 \end{cases}$	—
19	$l_r = l_{ш} - 2l_6 \sin \Phi$	—
20	$\varphi_4 = \operatorname{arctg} \frac{l_{ш} - A_{4X2}}{A_{4Y2}}$	φ_4 — положение правого бокового рычага
21	$\alpha_{1п.ф} = \varphi_4 + \varphi_{40}$	φ_{40} — начальное положение правого бокового рычага
22	$S_\delta = \sum_{i=1}^n \left(\left \frac{\delta_i + \delta_{i+1}}{2} \right (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \right)$	S_δ — площадь, образуемая графиком увода, рад ² ; α — средний угол поворота передней оси, рад
23	$R' = \frac{l_{ш} \operatorname{tg} \alpha_{1п.ф}}{\operatorname{tg} \alpha_{1л} - \operatorname{tg} \alpha_{1п.ф}}$	R' — расстояние между проекциями фактического центра поворота и оси переднего левого шкворня на продольную ось АТС, м
24	$R_{1п} = \frac{R' + l_{ш}}{\cos \alpha_{1п.ф}} + b_1$	$R_{1п}$ — радиус поворота переднего правого колеса, м; b_1 — длина поворотной цапфы, м
25	$P_{Y1} = \frac{m_1}{2} \cdot \frac{v^2}{R'}$	P_{Y1} — боковая сила на переднем правом колесе, Н; m_1 — масса, приходящаяся на передний мост, кг; v — скорость движения, м/с
26	$\delta_c = P_{Y1} / K_y$	K_y — коэффициент увода, Н/рад

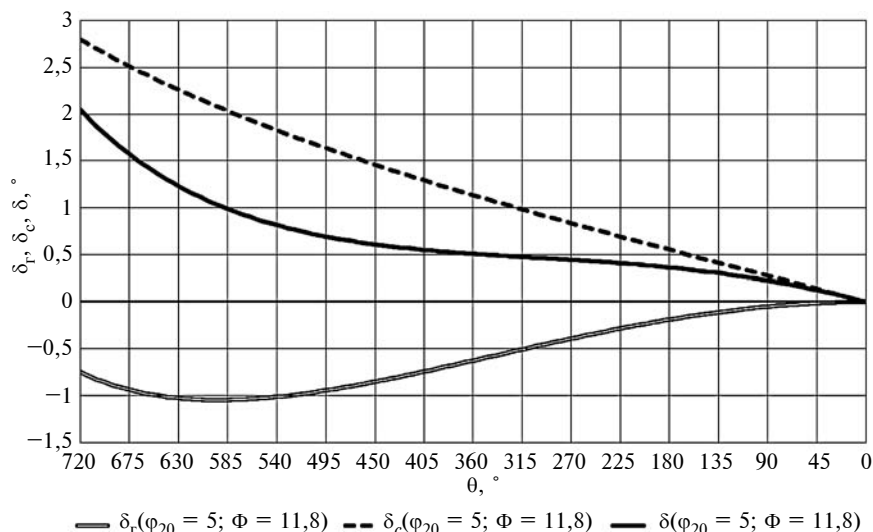


Рис. 3. Зависимости $\delta_r, \delta_c, \delta$ от θ при $\varphi_{20} = 5^\circ$ и $\Phi = 11,8^\circ$

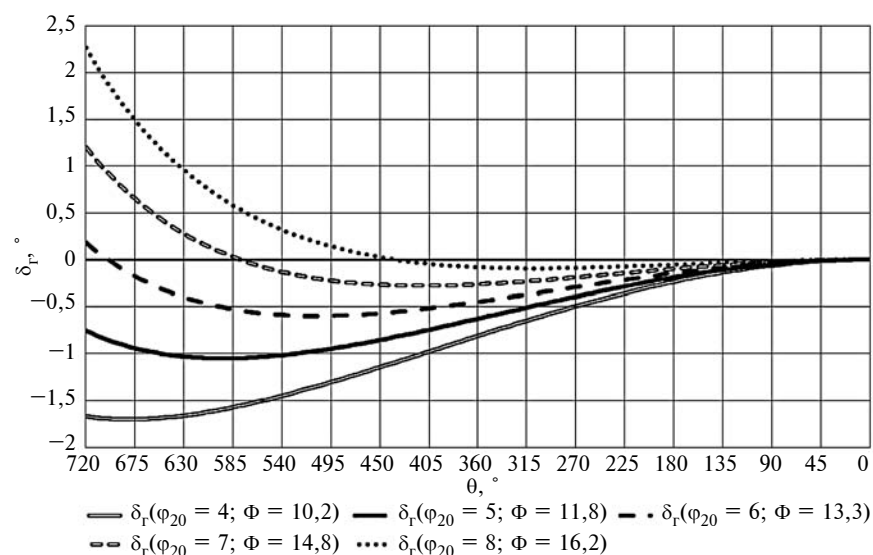


Рис. 4. Зависимости $\delta_r(\theta)$ для различных φ_{20} и Φ

Корнями системы уравнений 18 являются координаты шарнира A_4 в системе координат $X_2O_2Y_2$: $x = A_{4X2}$, $y = A_{4Y2}$. Угол поворота правого рычага относительно системы координат $X_3O_3Y_3$ находится по формуле 20, фактический угол поворота правого переднего колеса — по формуле 21. Методика решения систем 9 и 18 подробно изложена в работе [13].

Для оценки работы увода можно использовать площадь S_δ , образуемую графиком увода на заданном диапазоне θ от 0 до 720° , которая рассчитывается по формуле 22. Чем меньше S_δ , тем меньше работа уво-

да. Данная зависимость применима как к геометрическому уводу (в этом случае она обозначается S_{δ_r}), так и к суммарному.

При расчёте боковой силы на колесе P_{Y1} принимаются следующие допущения: перераспределение веса по колёсам вследствие боковой силы не учитывается; боковая сила считается действующей из фактического центра поворота O_ϕ ; углы схождения колёс не учитываются.

Определим смещение центра поворота из расчётной точки O_p в фактическую O_ϕ (см. рис. 1). Расстояние между проекциями фактического центра поворота O_ϕ и оси переднего

левого шкворня на продольную ось АТС можно найти из уравнения 23, а радиус поворота переднего правого колеса — из уравнения 24.

Боковая сила на переднем правом колесе P_{Y1} находится по формуле 25. При небольших значениях боковой силы P_Y (углах силового увода δ_c до 4°) зависимость $P_Y = f(\delta_c)$ можно считать линейной [8], поэтому угол увода на переднем правом колесе с достаточной степенью точности для решаемой задачи можно найти по формуле 26.

В качестве примера рассмотрим рулевой привод грузового автомобиля КамАЗ со следующими исходными параметрами: передаточное число рулевого механизма $U_0 = 21,7$; расстояние от вала сошки до шкворня переднего левого колеса $O_1O_2 = 0,8$ м; длина сошки $l_c = 0,3$ м; длина поворотного рычага $S_p = 0,28$ м; расстояние между шкворнями $l_{ш} = 1,61$ м; длина бокового рычага $l_6 = 0,38$ м; длина поперечной тяги $l_T \approx 1,46$ м; нагрузка на передний мост $m_1 = 5200$ кг; база АТС $L = 4,2$ м; длина цапфы $b_1 = 0,2$ м. Чтобы провести расчёт при максимальных α , скорость не должна превышать 20 км/ч, иначе последует потеря устойчивости (пусть $v = 18$ км/ч = 5 м/с). Коэффициент увода можно принять $K_Y = 149$ кН/рад (для шин 1220×400—533 при давлении 0,35 МПа) [6].

Для заданных геометрических параметров условие симметричности рулевой трапеции соблюдается при угле наклона бокового рычага $\Phi = 11,8^\circ$ и начальном положении поворотного рычага $\varphi_{20} = 5^\circ$. В этом случае графики зависимостей углов геометрического, силового и суммарного увода от положения рулевого колеса будут иметь вид, представленный на рис. 3, т.е. геометрический увод в некоторой степени компенсирует силовой увод.

При изменении φ_{20} для соблюдения условия симметричности одновременно необходимо изменять Φ . Зависимости $\delta_r(\theta)$ и $\delta(\theta)$ для различных φ_{20} и Φ , изображённые на рис. 4 и 5 соответственно, а также зависимости S_{δ_r} и S_δ , приведённые в табл. 2, позволяют сделать следующие выводы.

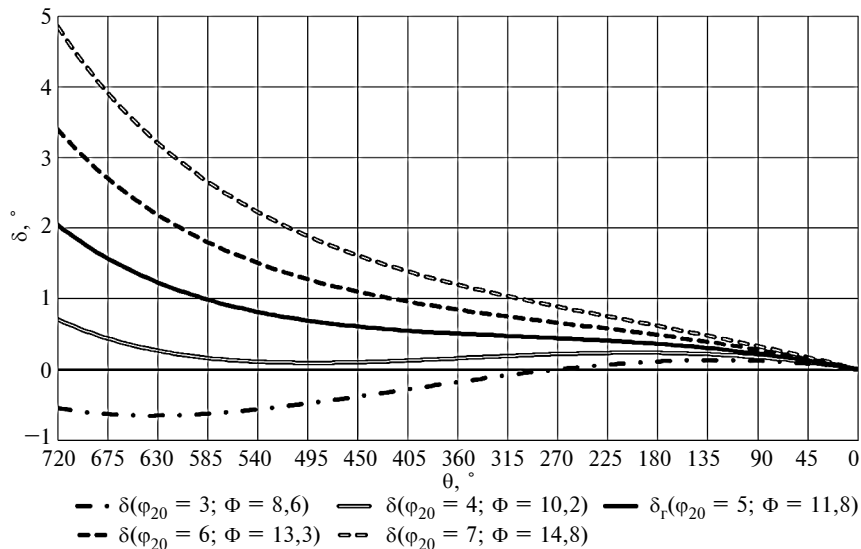


Рис. 5. Зависимости $\delta_r(\theta)$ для различных φ_{20} и Φ

Во-первых, наименьшая работа геометрического увода для заданных геометрических параметров рулевого привода имеет место при начальном положении поворотного рычага $\varphi_{20} = 7^\circ$. Однако если учесть силовой увод, оптимальное значение φ_{20} смещается в противоположную сторону от исходных $\varphi_{20} = 5^\circ$, и наименьшая работа суммарного увода достигается при $\varphi_{20} = 3...4^\circ$. Таким образом, выбранные на заводе исходные параметры рулевого привода КамАЗ можно считать удачными с точки зрения баланса между геометрическим и суммарным уводом.

Во-вторых, свойства рулевой трапеции таковы, что при вращении рулевого колеса из нейтрального положения к периферии угол геометрического увода всегда сначала принимает отрицательные значения, а затем изменяет знак. Точка перехода δ_r через нулевое значение по-

падает в диапазон $\theta = 0...720^\circ$ при $\varphi_{20} \geq 6^\circ$. Эта точка является важной при проектировании рулевого привода, так как в данном положении фактические углы поворота управляемых колёс совпадают с расчётными значениями, и коэффициент бокового скольжения $\lambda = 1$ (согласно [14]), а суммарный увод будет определяться исключительно явлением силового увода.

В-третьих, с увеличением φ_{20} длина поперечной рулевой тяги l_T и максимальный угол поворота наружного колеса $\alpha_{1п.р}$ уменьшаются, а угол наклона бокового рычага Φ и максимальный угол поворота внутреннего колеса $\alpha_{1л}$ — увеличиваются.

И, наконец, в-четвертых, геометрический увод будет присутствовать также и на задней оси АТС, что очевидно из рис. 1. Однако это тема для отдельного исследования.

Таблица 2

φ_{20} , °	2	3	4	5	6	7	8
Φ , °	6,9	8,6	10,2	11,8	13,3	14,8	16,2
S_{δ_r} , рад ²	49,434	40,204	31,024	21,180	11,455	8,206	12,843
S_{δ} , рад ²	25,228	10,847	7,277	24,050	40,923	59,079	77,712
l_T , м	1,519	1,496	1,475	1,455	1,435	1,416	1,398
$\alpha_{1л.маx}$, °	37,86	38,46	39,11	39,81	40,57	41,42	42,36
$\alpha_{1п.ф.маx}$, °	34,28	33,86	33,46	33,03	32,63	32,19	31,78

Таким образом, сформулированы основные положения теории геометрического увода, а предложенная математическая модель позволяет соотносить величину геометрического и силового увода и сделать выводы об их влиянии на суммарный увод эластичных колёс.

Литература

1. Певзнер Я.М. Исследование движения автомобиля при заносе: Дис. ... канд. техн. наук / МАДИ. — М., 1935. — 118 с.
2. Чудаков Е.А. Влияние боковой эластичности колес на устойчивость автомобиля против заноса. — М.: Изд. и 2-я тип. Изд-ва АН СССР, 1948. — 92 с.
3. Иларионов В.А. Стабилизация управляемых колес автомобиля. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1966. — 168 с.
4. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1971. — 416 с.
5. Динамика системы дорога—шина—автомобиль—водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, Г.В. Гольдин, Б.М. Додонов и др.; под ред. А.А. Хачатурова. — М.: Машиностроение, 1976. — 535 с.
6. Антонов Д.А. Расчёт устойчивости движения многоосных автомобилей. — М.: Машиностроение, 1984. — 168 с.
7. Балакина Е.В., Ревин А.А., Зотов Н.М. Сравнительная оценка результатов определения углов увода эластичного колеса по деформационной теории и теории нелинейного увода // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). — 2006. — № 6. — С. 100—105.
8. Гладов Г.И., Петренко А.М. Специальные транспортные средства: Теория: Учебник / под ред. Г.И. Гладова. — М.: Академкнига, 2006. — 215 с.
9. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колёсные транспортные средства особо большой грузоподъёмности / под общ. ред. Б.Н. Белоусова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.
10. Малиновский М.П. Системы управления колёсных машин: учебное пособие. — М.: МАДИ, 2018. — 100 с.
11. Брянский Ю.А. Управляемость большегрузных автомобилей. — М.: Машиностроение, 1983. — 176 с.
12. Малиновский М.П., Гладов Г.И. Координатный метод расчёта рулевой трапеции // Тракторы и сельхозмашины. — 2015. — № 8. — С. 17—19.
13. Малиновский М.П. Пространственная модель для определения передаточного числа рулевого привода // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2020. — № 3 (25). — С. 12.
14. Проектирование транспортных средств: учебное пособие / Ю.А. Брянский, Г.И. Гладов, Г.И. Гордеев, Н.Г. Давыдов, В.В. Кувшинов, В.В. Павлов; под общ. ред. Ю.А. Брянского; МАДИ. — М., 1985. — 119 с.

УДК 629.3.027.53

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АРОЧНЫХ ШИН ДЛЯ МНОГООСНЫХ КОЛЁСНЫХ ШАССИ

Канд. техн. наук **ПОПОВ С.Д.**

НПЦ "Специальное машиностроение"

МГТУ им. Н.Э. Баумана (unesco-tvet-01@yandex.ru)

Выполнен обзор отечественного опыта исследований внедорожных ародных шин, а также приведены результаты разработки в МВТУ им. Н.Э. Баумана специальной крупногабаритной ародной шины, предназначенной для использования в составе опорно-ходовых комплексов нетрадиционных типов.

Ключевые слова: ародная шина, проходимость автомобилей, опорно-ходовой модуль, равновесная конфигурация, радиальная жёсткость, коэффициент сопротивления боковому уводу, ародный эффект.

Popov S.D.

EXPERIENCE IN DEVELOPING LARGE ARCHED TIRES FOR MULTI-AXLE WHEEL CHASSIS

The article provides an overview of the domestic experience in researching off-road arch tires, as well as the results of development at the Bauman MSTU, a special large-sized arched tire designed for use as part of support-running complexes of non-traditional types.

Keywords: arch tire, vehicle passage, running module, equilibrium configuration, radial rigidity, side shift resistance ratio, arching effect.

При создании некоторых многоосных колёсных шасси требуется обеспечить возможность их движения по слабым грунтам и местности. При этом габаритные ограничения часто не позволяют увеличивать число опорно-ходовых модулей для уменьшения нагрузки на опорную поверхность, а также не допускают увеличения диаметра шины. В таких ситуациях приходится использовать так называемые широкопрофильные шины (например, мод. В-178А 1600×600-685 на шасси типа МАЗ-547). Однако в ряде случаев этого оказывается недостаточно из-за большой нагрузки на опорно-ходовой модуль, а также из-за несколько ограниченных внедорожных возможностей широкопрофильных шин [1]. Такая ситуация, например, сложилась в ходе разработки в 1981 г. на кафедре "Колёсные машины" МВТУ имени Н.Э. Баумана инновационного опорно-ходового комплекса для многоосного колёсного шасси высокой проходимости, для которого на первом этапе была принята крайне необычная балансирно-цепная схема, а на последующем этапе предполагалось использовать опорно-ходовой модуль стоечного типа со сверхдлинноходной двухступенчатой системой поддрессирования [2].

Одним из путей решения задачи может служить применение так называемых "арочных шин". Хотя за последние 20...30 лет интерес к совершенствованию ародных шин в нашей стране резко упал, для поисков в этом направлении, особенно с учётом всё более и более обостряющегося интереса к освоению арктического направления России, по-прежнему сохраняются серьёзные основания.

Как известно, ародные шины отличаются от широкопрофильных шин ещё большей шириной, относительно небольшой высотой профиля и небольшой боковиной (у первых вариантов таких шин боковина практически отсутствовала). Такие шины имели значительный внутренний объём, пятно контакта почти круговой формы и большой допустимый прогиб. Площадь кругового пятна контакта ародной шины увеличивается прямо пропорционально квадрату его радиуса, а при больших прогибах в средней части контакта снижается давление на опорную поверхность (возникает так называемый "арочный эффект"). Конструктивные особенности обеспечивали работоспособность ародных шин при относительно низких значениях внутреннего давления воздуха (0,5...1,6 бар) при сохранении наружного диаметра, близкого к размеру стандартных шин эквивалентной грузоподъёмности.

В нашей стране исследования ародных шин были начаты в НАМИ ещё в 1956 г., когда предлагалось радикально повысить таким образом проходимость обычных автомобилей и сельскохозяйственных машин [3, 4, 8...11]. Первые ародные шины (1140-700 мод. Я-146) были изготовлены Ярославским шинным заводом в апреле 1957 г. и установлены на грузовой автомобиль ЗИС-150, седельный тягач ЗИС-586 с полуприцепом грузоподъёмностью 5,0 т и самоходный комбайн "Сталинец" С-4. Позднее в НИИ шинной промышленности были изготовлены экспериментальные шины 1000-650 грузоподъёмностью 2000 ДаН. Испытания этих шин проводились на автомобилях ЗИС-151 (6×6) и ГАЗ-51 (4×4).

При испытаниях шин Я-146 на двух автомобилях ЗИС-150 (рис. 1—3) с нагрузкой 3,0 и 4,0 т среднее давление на грунт находилось в пределах 0,6...0,9 бар (в зависимости от внутреннего давления и нагрузки). С точки зрения достижения поставленной цели результаты испытаний были положительными [3]: проходимость автомобиля на слабых грунтах с ародными шинами существенно возросла. В некоторых случаях (движение по сухому глубокому песку, движение по заболоченной местности) проходимость экспериментального автомобиля оказалась более высокой, чем у полноприводных ЗИС-151 и ГАЗ-63. Автомобиль с ародными шинами двигался и мог буксировать застрявшие грузовики на тех участках, где стандартные автомобили теряли подвижность. На мягких грунтах он был заметно экономичнее автомобиля со штатными шинами, который, на тех участках, где он ещё сохра-



Рис. 1. Автомобиль ЗИС-150, оборудованный колёсами с ародными шинами [6]



Рис. 2. Движение автомобиля ЗИС-150 по заболоченному участку [3]



Рис. 3. Движение автомобиля ЗИС-150 по участку с глубоким слоем ила [3]

нял подвижность, расходовал на 80 % больше топлива. Комбайн с арочными шинами мог работать на грунтах с влажностью до 26,7 %, в то время как комбайн со стандартными шинами 11-24 терял подвижность на грунтах с влажностью более 16 %.

Эксплуатационные испытания проводились на 120 автомобилях ЗИС-150 в Алтайском крае, Вологодской области, Белорусской и Украинской ССР. При этом в октябре—ноябре в Усть-Калманском районе Алтайского края эти автомобили могли двигаться по заснеженной целине глубиной 50 см. При этом испытания также показали, что при движении по дорогам с усовершенствованным покрытием автомобили с арочными шинами расходовали в среднем на 15 % больше топлива, чем стандартные грузовики.

В дальнейшем промышленностью были освоены серийные арочные шины с центральной беговой дорожкой и переменной высотой грунтозацепов: Я-170А для автомобилей ЗИЛ-164 и И-213 (1000-600) для автомобилей ГАЗ-51. (Характеристики отечественных арочных шин разных моделей и типоразмеров приведены в табл. 1—3).

В целом в ходе достаточно продолжительных исследований было установлено, что при эксплуатации автомобилей на тяжёлых размокших дорогах и заснеженных опорных поверхностях арочные шины обладают несомненными преимуществами по сравнению с тороидными шинами: почти вдвое выше тягово-сцеп-

ные качества, на 10...20 % меньшее сопротивление движению. Автомобили с арочными шинами были способны уверенно преодолевать достаточно глубокий снежный покров.

При этом у арочных шин оказались ощутимо худшие эксплуатационные показатели при работе на твёрдых опорных поверхностях, в том числе для них характерно повышенное сопротивление движению, увеличение расхода топлива (на 5...7 %) и интенсивный износ грунтозацепов. На сухих твёрдых дорогах тормозной путь у автомобилей с арочными шинами на 3...11 % больше чем у таких же автомобилей с обычными шинами. Кроме того, при движении по твёрдым дорогам (особенно — по заснеженным и обледенелым дорогам) из-за специфической формы пятна контакта тракторная устойчивость автомобилей с арочными

Таблица 1

Максимально допустимая нагрузка на шину (колесо), Н	Наружный диаметр шины, мм			
	До 1100	До 1200	До 1300	До 1500
До 16 000	—	—	—	1420×500 Я-196 1500×600 Я-195
До 18 000	1000×600 И-213	—	—	—
До 20 000	1000×650 И-182	—	—	—
До 30 000	—	1140×700 Я-146А 1140×700 Я-170 1140×700 Я-170А 1140×600 Я-171 1140×600 Я-187 1140×700 Я-173	—	—
До 40 000	—	—	1300×750 Я-169	1500×840 И-185
До 50 000	—	—	1300×750 Я-186	—

Таблица 2

Относительные параметры геометрической формы шин	Тип шины			
	Тороидная	Широкопрофильная	Арочная	Пневмокаток
Коэффициент высоты профиля H/B	0,9...1,0	0,75...0,85	0,4...0,6	0,1...0,4
Коэффициент баллонности D/d	1,5...3,0	1,5...3,0	1,5...2,0	2,0...4,0
Коэффициент ширины шины B/D	0,18...0,36	0,36...0,46	0,5...0,6	0,4...2,0
Коэффициент ширины обода b/B	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0	0,9...1,0

шинами ухудшается (ряд интересных предложений, направленных на устранение этих недостатков приведён в [7]).

В целом, хотя достижение приемлемых параметров арочных шин требует доработки конструкции и технологии производства, очевидные достоинства делают их применение потенциально перспективным при использовании в опорно-ходовом комплексе внедорожных многоосных колёсных шасси. Этими соображениями и руководствовались на кафедре "Колёсные машины" МВТУ им. Н.Э. Баумана при разработке опорно-ходового комплекса для перспективного многоосного колёсного шасси высокой проходимости.

Как известно, типичная арочная шина имеет следующие особенности конструкции. Каркас шины обычно диагонального типа и имеет 4...10 слоёв корда (чаще всего 12К или 14К) с углом наклона нитей по короне $\beta = 52...57^\circ$. Кордный брекер обычно не применяется [9]. Протектор шины, как правило, имеет развитые широко расставленные грунтозацепы. Если техническим заданием предусматривается движение по твёрдым дорогам, то по экватору вводится беговая дорожка.

Параметры протектора типичной арочной шины [9]:

Шаг грунтозацепов, мм	100...250
Угол наклона к окружному сечению шины, град	45
Высота по центру протектора, мм	15...60
Коэффициент насыщенности	0,15...0,33
Ширина протектора $B_{пр}/B$	0,7...0,95

Поперечное сечение грунтозацепов арочных шин чаще всего имеет трапециевидальную форму с углом на-

клона сторон трапеции к основанию $15...28^\circ$ (для лучшей самоочищаемости рисунка). Борты шины имеют, как правило, одно или два бортовых кольца (запас прочности 7...10). Основание борта имеет наклон 10° . Посадочный диаметр обода назначается на 2...3 мм больше, чем посадочный диаметр шины, для получения натяга и обеспечения передачи через посадочную полку больших крутящих моментов. Кроме того, борты шины зажимаются специальными бортовыми кольцами. Толщина боковины [9] — 5...10 мм. Арочные шины обычно делают бескамерными. Для предотвращения диффузии воздуха каркас и борты с внутренней стороны покрывают герметизирующим слоем резины толщиной 2...3 мм. Толщина подканавочного слоя — 6...15 мм [9].

Устойчивых и сложившихся конструктивных решений по арочным шинам в настоящее время по-прежнему нет. По мере накопления опыта в первоначальную конструкцию ("Липсоид") были внесены различные усовершенствования, главное из которых — т.н. "надбортная часть" шины или боковина. Это требует до начала эскизного проектирования шины анализа имеющихся прототипов.

Шины Я-170 и Я-173 предназначены для грузовых автомобилей ЗИЛ (мод. 164 и др.), имеют центральную беговую дорожку и расчленённые грунтозацепы эвольвентной формы. Опытная шина Я-173 предназначена для эксплуатации на сухих песках, Я-171 и Я-187 — на лесных и просёлочных дорогах с глубокой колеёй. Шина И-213 разработана для грузовых автомобилей ГАЗ (мод. 51 и др.). Для автомобилей ЗИЛ также была разработана шина Я-217 (1140×600) с высотой профиля 316 мм на ободке 580×630.

Таблица 3

Параметр	Модели шин								
	О-18	И-213	ОИ-28	Я-146	Я146Л	Я-170	Я170А	Я-173	Я-187
Размерность	1000×580	1000×600	1000×600	1140×700	1140×700	1140×700	1140×700	1140×700	1140×600
Число слоёв	6	6	6	8	8	8	8	8	8
Нагрузка, т	2,0	1,8	2,0	3,0	2,65	3,0	3,0	2,7	3,0
Наружный диаметр, м	1,0	1,01	1,082	1,14	1,14	1,14	1,14	1,08	1,14
Ширина профиля, м	0,58	0,60	0,588	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
H/B	0,423	0,375	0,384	0,371	0,366	0,366	0,366	0,318	0,424
D/B	1,72	1,68	1,70	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,90
Номинальное давление, бар	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	2,0	2,0	1,5	2,5
Радиальная жесткость, ДаН/мм	34	33	45	41	—	43	48,4	42	49,6
Тангенциальная жесткость, ДаН/град	—	240	—	250	233	200	174	210	—
Глубина рисунка, мм	40	40	40	60	60	40	40	45	40
Масса шины, кг	67	70	84	107	114	109	99	90	98
Масса обода, кг	98	90	43	106	106	104	62	108	60
Момент инерции, кгм·с	1,96	1,823	1,885	3,100	—	3,236	2,760	—	3,100

Шина Я-186 (1300×750) грузоподъёмностью 5,0 т на ободе 730×680 была разработана для автомобилей КраЗ-257, причём такое колесо заменяет две стандартные шины 12,00-20:

Число слоев корда	10
Масса колеса в сборе, кг	226,0
Масса шины, кг	147,5
Масса шины в сборе, кг	231,5
Масса обода, кг	64,0
Момент инерции шины, кгм·с	4,317
Момент инерции обода, кгм·с	0,703
Момент инерции шины в сборе с ободом, кгм·с	5,02

Арочные шины имеют высокую радиальную эластичность (допустимая радиальная деформация $h = (0,2...0,3)H$, малое внутреннее давление (0,5...1,5 бар) и весьма большую площадь контакта [5, 9, 10, 11]. Эти особенности арочных шин иллюстрируются данными табл. 4 и 5 для шин с равными значениями D и H [5, 9, 10, 11].

В ряде случаев [12] замена тороидных шин на арочные даёт в тяжёлых дорожных условиях экономию топлива до 15...30 %.

При больших деформациях происходит резкое перераспределение давлений по ширине контакта ("арочный эффект"), уменьшающее погружение шины в мягкий грунт из-за его лучшего уплотнения. На твёрдых дорогах из-за этого эффекта увеличивается износ беговой дорожки (на износ влияет также проскальзывание контакта из-за большой поперечной кривизны беговой дорожки) [12]. Опыт разработки и эксплуатации шин Я-170 показал, что их пробег в оптимальных условиях эксплуатации может достигать 50...60 тыс. км [12] (по другим данным 40...45 тыс. км, если 30 % составляют дороги с твёрдым покрытием и 70 % — грунтовые дороги [13]). Это в целом отвечает требованиям к ресурсу шин многоосных шасси (>60 % от пробега до капитального ремонта шасси, равного примерно 80...100 тыс. км).

Арочные шины имеют малую радиальную жёсткость и обеспечивают в одномассовой расчётной схеме собственную частоту колебаний 120...140 мин⁻¹ [8, 10].

Для целей поисковых работ, которые выполнялись на кафедре "Колёсные машины" МВТУ имени Н.Э. Баумана, требовалось разработать технические предложения по специальной арочной шине с регулируемым давлением воздуха. Шина предназначалась для использования в составе опорно-ходового модуля с оригинальной трёхколёсной подвеской балансирно-цепного типа и электромоторколёсами.

Для этого имелись следующие основания. Сферическая форма колеса с арочной шиной соответствовала замыслу ходовой части и позволяла рационально использовать отведённые для этого объёмы. Арочная шина позволяет предельно снизить высоту расположения звеньев балансира опорно-ходового модуля, сохранив возможность поворота колёс на 90°. При этом опорно-поворотное устройство имеет большой диаметр и, соответственно, большую жёсткость, а звенья

балансира — значительные поперечные сечения. Высокая радиальная эластичность арочной шины позволяла отказаться от промежуточного поддрессоривания в звене "колесо—балансир". Значительная ширина арочной шины позволяет существенно увеличить нагрузку на колесо при сохранении приемлемого диаметра. Значительные длина и диаметр внутренней части свода шины упрощают размещение мощного тягового электропривода и рабочих тормозов. Специфические свойства арочных шин позволяют рассчитывать на ощутимое повышение проходимости шасси по грунтовым дорогам и местности, возможно без регулирования давления воздуха в шинах. Ресурс арочных шин при смешанных условиях эксплуатации, достигнутый на момент разработки, в целом соответствовал требованиям к многоосным шасси. Производство арочных шин не отличается от производства широкопрофильных шин аналогичной размерности.

Таблица 4

Тип шины	Модель	Размерность	Нагрузка, кг	$S_{\text{конт}}$, см ²	Примечание
Тороидная	М-9	7,50—20	3100	500	2 шины
Тороидная	И-125	260—20	2000	800	2 шины
Арочная	И-182	1000×650	2000	1980	—
Арочная	Я-146	1140×700	3000	2000	—

Таблица 5

Параметры	Тип шины			
	Тороидная с регулируемым давлением	Широкопрофильная	Арочная	Пневмокачок
$M_{\text{ш}}/G_{\text{к}}$	0,050	0,028	0,037	0,050
$M_{\text{к}}/G_{\text{к}}$	0,072	0,054	0,072	0,085
$I_{\text{к}}/G_{\text{к}}$	0,0011	—	0,0010	0,0010
$V_{\text{ш}}/G_{\text{к}}$, см/ДаН	200	150	200	600
$V_{\text{к}}/G_{\text{к}}$, см/ДаН	246	182	267	630
q_{min} , Дан/см	0,90	0,80	0,80	0,30
q_{max} , Дан/см	3,50	3,50	2,0	0,80

Таблица 6

Размерность	1000×600	1140×600	1140×700	1300×750
Слойность	8	8	8	10
Нагрузка, ДаН	2800	3000	3000	5000
Давление, ДаН/см ²	2,5	2,5	2,0	2,5
Радиальная жесткость, ДаН/см	61,8	59,7	51,6	68,4
Боковая жесткость, ДаН/мм	43,2	36,7	39,0	48,5
Крутильная жесткость, ДаН/град	246,4	244,0	244,0	337,0

Исходные значения основных относительных параметров (табл. 7) были получены путем обобщения опыта создания отечественных арочных шин — $H/B = 0,377_{-0,059}^{+0,047}$ и $B/D = 0,596_{-0,070}^{+0,017}$. Параметры D/d и $b_{об}/B$ выбирались по двум прототипам — шина Я-186 1300×750 с ободом 730×680 ($D/d = 1,81$, $b_{об}/B = 0,965$) и шина 1140×700 с посадочным диаметром обода $630,5$ мм ($D/d = 1,90$, $b_{об}/B = 0,973$) — $D/d = 1,90$ и $b_{об}/B = 0,97$. Профиль и элементы конструкции шины выбирались подобными шине И-213 (1000×600) и шине Я-287.

Исходный параметр — внешний диаметр беговой дорожки, который, в соответствии с исходными конструктивно-компоновочными требованиями, был выбран равным диаметру шины В-148А — 1600 ± 3 мм. Равновесная конфигурация каркаса (рис. 4) была построена в соответствии с рекомендациями [14]. Форма беговой дорожки — сферическая. Ширина протектора — $b_{пр1} = 0,525$ и $b_{пр2} = 0,427$.

Расчётные значения размеров шины в свободном состоянии (внешние контуры шины) были уточнены в соответствии с нормальным рядом размеров (табл. 8, рис. 5).

В первом приближении конструктивные параметры полученной шины оценивали, считая её подобной аналогичным отечественным шинам-прототипам.

В частности, массу шины оценивали по массе прототипов, полагая её пропорциональной кубу характерного размера (диаметра D). Для шин-прототипов $K_m = 69,768 \pm 4,97$ % кг/м³, поэтому среднее значение массы арочной шины 1600×960 оценивается величиной $285,8$ кг.

Полагая величину частоты собственных колебаний одномассовой системы с подобными арочными шинами постоянной $C_{рад}/m = \text{const} \rightarrow C_{рад}/mg = C_{рад}/R_{z \text{ ном}} = \text{const}$ и равной (120...140) кол/мин, по-

Таблица 7

Параметр	D	B	H	$b_{об}$	$h_{гр}$
Значение	1,0	0,6	$0,377B = 0,226$	$0,97B = 0,582$	0,048

Таблица 8

Параметр	Размер		
	расчетный, мм	номинальный, мм	относительный
Внешний диаметр	1600	1600	1,0
Ширина профиля	960	960	0,6
Высота профиля	368	380	0,237
Ширина обода	928	960	0,6
Диаметр обода	842,1	840	0,525
Высота грунтозацепов	76,1	60,0	0,0375
Диаметр профиля	1446	1480	0,925
Ширина протектора	840	810	0,506
Ширина боковой дорожки	683,2	750	0,469

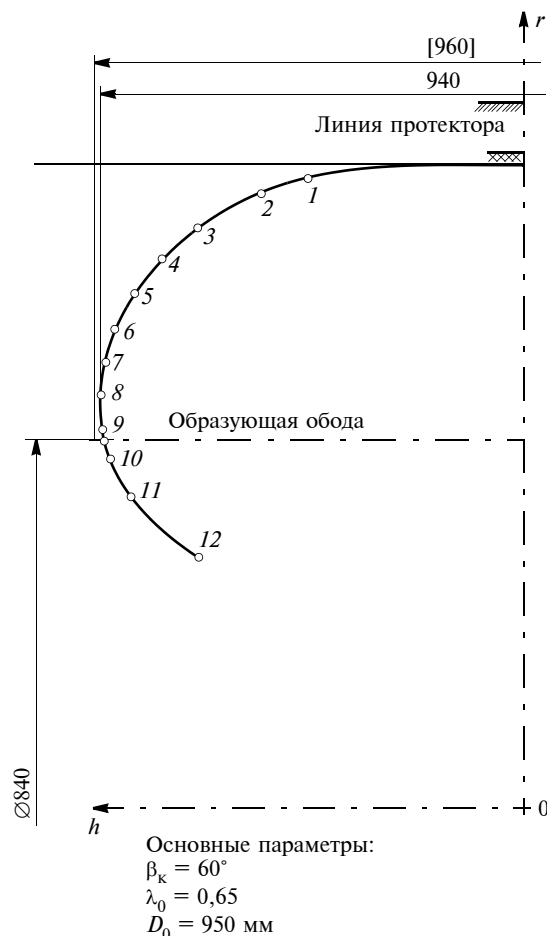


Рис. 4. Равновесный профиль

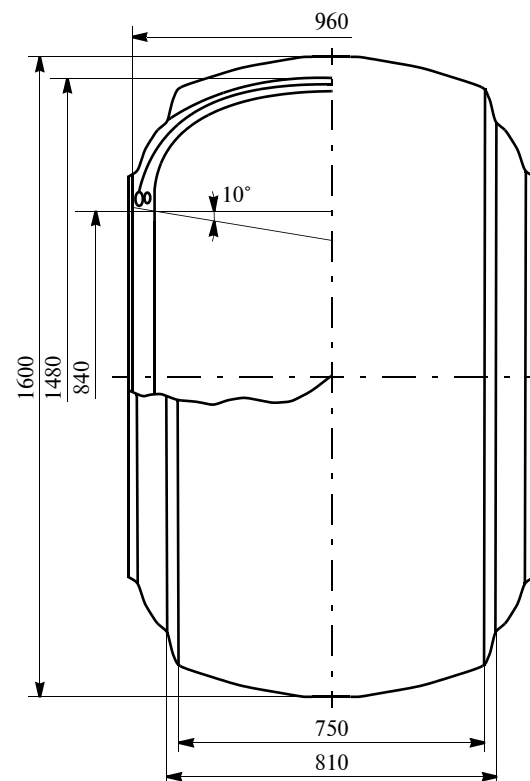


Рис. 5. Шина арочная размером 1600×960

лучаем для шин прототипов $K_{C_{\text{рад ср}}} = M[C_{\text{рад}}/R_{z \text{ ном}}] = 16,780 \text{ ДаН}/(\text{мм} \cdot \text{т})$. Среднее значение коэффициента подобия для определения крутильной жёсткости получаем аналогичным образом $K_{C_{\text{тан ср}}} = M[C_{\text{тан}}/R_{z \text{ ном}}] = 84,50 \text{ (ДаН} \cdot \text{м)}/(\text{град} \cdot \text{т})$.

Момент инерции шаровой поверхности массой m относительно оси вращения $I_x = \frac{2}{3} mR^2$, потому можно ожидать, что момент инерции арочной шины $I \sim mD^2 \sim D^3D^2 \sim D^5$. По данным прототипов $K_{I \text{ ср}} = M[I_x/D^5] = 1,7158 \text{ Дан} \cdot \text{с}^2/\text{м}$, поэтому среднее значение момента инерции арочной шины 1600×960 относительно оси вращения оценивается величиной $I_x = 17,98 \text{ ДаН} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$.

Часто предлагается приближенно считать, что грузоподъёмность шины пропорциональна B^2 [9 и др.]. В этом случае по данным прототипов $K_{\text{гр}} = M[G_k/B^2] = 6,01 \text{ т}/\text{м}$ и среднее значение номинальной грузоподъёмности шины 1600×960 оценивается величиной 5,53 т. Это явно заниженная оценка, так как реальная шина меньшей размерности Я-186 1300×750 имеет грузоподъёмность 5,0 т.

Ориентируясь на шину Я-186 как на прототип, используем формулу Хэлла [9]

$$Q = 0,231AKp_w^{0,585} (D_{\text{об}} + B)B^{1,39}.$$

Полагая обод оптимальным, считаем $C = 0 \rightarrow B_1 = B$. Кроме того, для скоростей движения колеса $>40 \text{ км}/\text{час}$ $A = 1$, тогда

$$Q = 0,231Kp_w^{0,585} (D_{\text{об}} + B)B^{1,39}.$$

Коэффициент K определяется по шине-прототипу при номинальном давлении $p_w = 2,5 \text{ бар}$ и номинальной нагрузке $Q = 5000 \text{ ДаН}$: $K = 0,212$. Таким образом, можно считать, что для арочной шины, подобной шине Я-186, формула Хэлла принимает вид

$$Q = 4,89 \cdot 10^{-2} p_w^{0,585} (D_{\text{об}} + B)B^{1,39}.$$

Для шины 1600×960 с ободом $D_{\text{об}} = 840 \text{ мм}$ $Q = 5014,27 p_w^{0,585}$. Ориентируясь на отечественный опыт разработки арочных шин можно, в первом приближении, назначить для твёрдой опорной поверхности $p_w = 3,6 \text{ бар}$ и грузоподъёмность шины (с некоторым резервом) на уровне $G_{k \text{ ном}} = 10,0 \text{ т}$. Соответственно этому $C_{\text{рад ном}} = 167,6 \text{ ДаН}/\text{мм}$ и $C_{\text{тан ном}} = 845 \text{ (Дан} \cdot \text{м)}/\text{град}$.

Удельный коэффициент тангенциальной эластичности $K_{\text{тэ}} = (K_x G_x)/r_{k0}$ для арочной шины 1140×700 при $G_{k \text{ ном}} = 3,0 \text{ т}$, $p_w = 2,0 \text{ бар}$ и $r_{k0} = 540 \text{ мм}$ [8] равен $K_{\text{тэ}} = 0,195$. Полагая, что для подобных шин $r_{k0} = (D_{\text{нат}} r_{k0 \text{ мод}})/D_{\text{мод}}$, получим $K_x = 1,48 \cdot 10^{-2} \text{ мм}/\text{Дан}$.

Данных, необходимых для каких-либо оценок коэффициента сопротивления боковому уводу арочных шин, обнаружить не удалось. Можно предположить, что, в самом первом приближении можно использовать для оценок результаты испытаний широкопрофильных шин с регулируемым давлением воздуха [15]: $M[q_b] = M[K_y/G_k] = 5,5$. При этом, согласно [15], $K_{y0э}$ уменьшается с уменьшением отношения H/B и для

Таблица 9

Норма слоистости, $n_{\text{сл}}$	$R_{z \text{ ном}}$, кН	p_w , кПа	D , м	B , м	d , м	H , м
12	90	150	1,6	0,96	0,64	0,38

большинства широкопрофильных шин $q_b \in [4,0; 7,0]$. Таким образом, ориентируясь на нижнюю границу этого интервала, можно ожидать $K_{y0э} < 40 \text{ 000 ДаН}/\text{рад}$.

Более точный расчёт можно выполнить, пользуясь эмпирическими формулами, приведёнными в [15], задаваясь размерами и параметрами шины, полученными в ходе предэскизного проектирования (табл. 9).

Экстремальный коэффициент сопротивления боковому уводу вычисляется по следующей формуле:

$$K_{y0эш} = 1000 \frac{n_{\text{сл}}}{n_{\text{сл}} + 10} DB^2 \sqrt{\frac{B}{H}} + 6,2p_w \frac{1}{d^3(n_{\text{сл}} + 8)} \left[\frac{DHB}{d(D^2 - d^2)} \right]^2 \quad [15].$$

Поле соответствующих вычислений получаем $K_{y0эш} = 1237,37 + 0,07698p_w$.

Вертикальная реакция, при которой $K_{y0эш}$ достигает экстремального значения [17], определяется как

$$\begin{cases} R_{zэш} = R_{zэ0} + \xi p_w; \\ R_{zэ0} = R_{z \text{ ном}} - 0,0726 \left[\frac{HD}{B} (D^2 - d^2) \right]^2 \left(\frac{d}{B} \right)^5 \left(\frac{n_{\text{сл}} + 8}{n_{\text{сл}}} \right) \times \\ \times H \left[3,75 R_{z \text{ ном}} + 15 - 1000 \left(\frac{n_{\text{сл}}}{n_{\text{сл}} + 10} \right) d B^2 \sqrt{\frac{B}{H}} \right]; \\ \xi = \frac{0,45 H}{n_{\text{сл}} B} \left(\frac{HD}{B} \right). \end{cases}$$

После вычислений получаем $R_{zэш} = 120,089 + 0,002687p_w$.

Зависимость коэффициента сопротивления боковому уводу от вертикальной нагрузки на шину строится в соответствии с алгебраической теорией бокового увода [15]:

$$\begin{cases} K_{y0} = q_z K_{y0э}; \\ q_z = 1 - 0,6 \left(\frac{R_z - R_{zэ}}{R_{zэ}} \right)^2 + 0,4 \left(\frac{R_z - R_{zэ}}{R_{zэ}} \right)^3 - \\ - 0,1 \left(\frac{R_z - R_{zэ}}{R_{zэ}} \right) - \left(\frac{R_z - R_{zэ}}{R_{zэ}} \right) \text{sign} \left(\frac{R_z - R_{zэ}}{R_{zэ}} \right). \end{cases}$$

Технические характеристики шины (сводные данные)

Диаметр шины, мм	1600
Ширина профиля, мм	960
Высота профиля, мм	380
Диаметр обода, мм	840
Ширина обода, мм	950
H/B	0,396
Число слоёв	10

Угол наклона нитей на экваторе, град . . .	57
Высота грунтозацепов по экватору, мм . . .	60
Ширина протектора, мм	750
Номинальное давление воздуха, бар	3,5
Номинальная нагрузка, Дан	10 000
Радиальная жёсткость, ДаН/мм	167,6
Тангенциальная жёсткость, (ДаН·м)/рад . . .	845
Коэффициент тангенциальной эластичности, мм/ДаН	1,48·10
Коэффициент сопротивления боковому уводу, ДаН/рад, не более	40 000
Масса шины, кг	290
Момент инерции, ДаН·м·с ²	17,98
Ресурс при движении в смешанных условиях эксплуатации, тыс. км, не менее	60
Предельно допустимая скорость движения при номинальных параметрах, км/ч, не менее	70
Тип рисунка	Расчленённый с беговой дорожкой
Коэффициент насыщенности протектора, не менее	0,33
Форма поперечного профиля грунтозацепа . .	Трапеция с наклоном стороны 15 град
Наклон грунтозацепа к окружному сечению, град	45

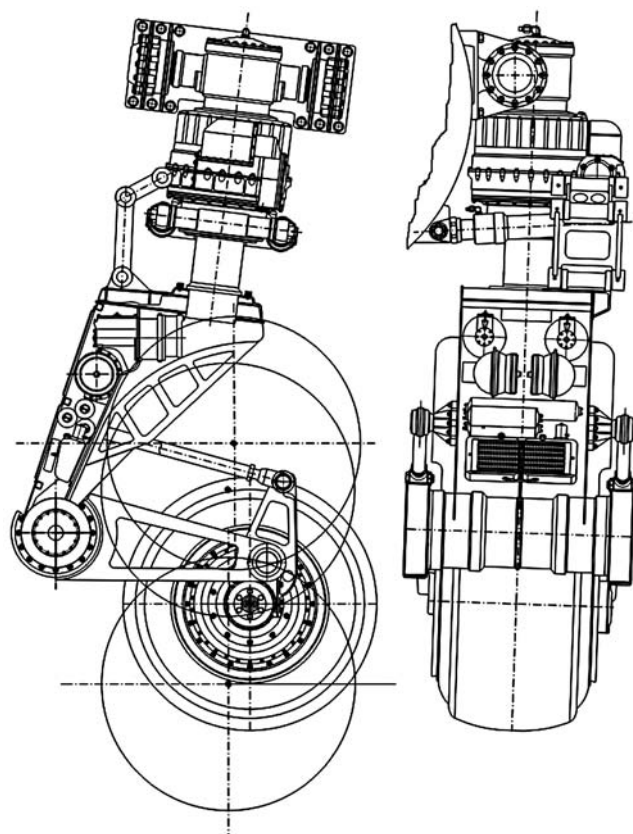


Рис. 7. Опорно-ходовой модуль стоечного типа с арочной шиной 1600×960

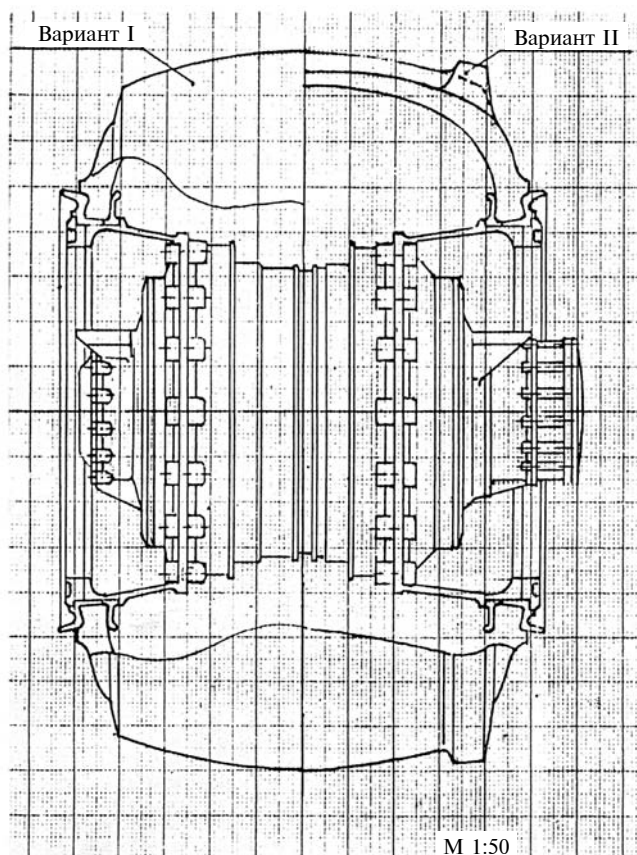


Рис. 6. Электромоторколесо опорно-ходового модуля многоосного колёсного шасси стоечного типа с арочной шиной 1600×960

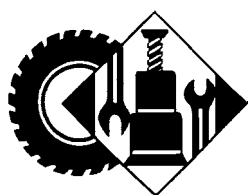
Последующие проработки [2] показали, что арочная шина 1600×960 полностью вписывается в габаритные и конструктивные ограничения, определявшие технический облик электромоторколеса (рис. 6) для опорно-ходового модуля многоосного колёсного шасси стоечного типа со сверхдлинноходной двухступенчатой системой поддрессоривания и электромоторколёсами (рис. 7).

При этом были проработаны два варианта оформления той части шины, которая контактирует с опорной поверхностью: традиционный протектор с расчленёнными грунтозацепами и центральной беговой дорожкой (вариант I) и протектор с дополнительными боковыми беговыми дорожками (вариант II), которые, в соответствии с результатами и рекомендациями [7], должны обеспечить при движении по твёрдой опорной поверхности умеренный износ шины и хорошую курсовую устойчивость агрегата — при сохранении всех остальных достоинств арочной шины как внедорожного движителя.

Таким образом, результаты, полученные на кафедре "Колёсные машины" МВТУ им. Н.Э. Баумана при разработке специальных движителей для многоосных шасси нетрадиционного типа, могут быть полезными при создании перспективных внедорожных транспортных средств, предназначенных для использования в труднодоступных и арктических регионах России, а также позволят наметить пути дальнейших исследований колёсных движителей арочного типа.

Литература

1. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колёсные транспортные средства особо большой грузоподъёмности. Конструкция, теория, расчёт. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с. ISBN 5-7038-2713-2.
2. Исследование проблем обеспечения подвижности большегрузных высокоскоростных колёсных транспортных средств высокой проходимости. Научно-технический отчет. Кн. 1. Научный руководитель С.Д. Попов. — М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1994 г.
3. Карасёв А. Разработки арочных шин в НАМИ. Электронный ресурс: Источник: <https://os1.ru/article/6393-razrabotki-arochnyh-shin-v-nami-shiny-dlya-poley>
4. Плиев И.А., Сайкин А.М., Архипов А.В. Типоразмерные ряды шин для автотранспортных средств северного исполнения. Инженерный вестник. 04.04.2012.
5. Плиев И.А., Сайкин А.М., Коршунов Г.В., Архипов А.В. Автотранспортные средства для бездорожья — проблемы и решения // Журнал автомобильных инженеров. — 2011. — № 5 (70). — С. 46—49.
6. Электронный ресурс: https://rafych_lexicon_cosri.backbook.me/photo-2c15513f3d.html
7. Галимзянов Р.К. Исследование работы арочной шины с замкнутым контуром рисунка протектора: Автореферат дисс. на соискание учёной степени кандидата технических наук. (195) / Челябин. политехн. ин-т. — Челябинск, 1968. — 27 с.
8. Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Семёнов В.М. Транспортные средства на высокоэластичных движителях. — М.: Машиностроение, 1974. — 208 с.
9. Цукерберг С.М., Гордон Р.К., Нейнкирхн Ю.Н., Прашикин В.Н. Пневматическая шина. — М.: Химия, 1973. — 264 с.
10. Армадеров Р.Г., Бочаров Н.Ф. Двигатели транспортных средств высокой проходимости. — М.: Транспорт, 1972. — 104 с.
11. Цукерберг С.М., Захаров С.П., Ненахов Б.В. Шины, повышающие проходимость автомобиля. — М.: Автотрансиздат, 1959. — 44 с.
12. Исследование взаимодействия арочной шины с твёрдой опорной поверхностью. — Государственный комитет Совета Министров СССР по автоматизации и машиностроению. Управление сельскохозяйственных машин и автомобилей. Центральный ордена научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ). — М.: 1961, 17 с. Российская национальная библиотека (РНБ).
13. Цукерберг С.М. Шины для автомобилей высокой проходимости. — М.: Госхимиздат, 1960.
14. Атлас номограмм равновесных конфигураций пневматических шин / В.Л. Бидерман, Б.Л. Бухин, И.К. Николаев, Р.Н. Сметанкина. Гос. науч.-исслед. ин-т шинной пром-сти. — М.: Химия, 1967. — 36 с.
15. Антонов Д.А. Расчёт устойчивости движения многоосных автомобилей. — М.: Машиностроение, 1984. — 168 с.
16. Сборник трудов НИИШП "Механика пневматической шины". — М.: НИИШП, 1976. С. 148—170.
17. Кнороз В.И., Петров И.П., Хлебников А.М. Взаимодействие арочной шины с деформируемым грунтом. В сб. труды НАМИ. — М., 1970. — Вып. 120. — С. 3—25.
18. Гуральник В.Е., Бражник Б.М., Цукерберг С.М. Влияние конструкции грунтозацепов на сцепление шин высокой проходимости с деформируемыми грунтами. Каучук и резина. — 1974. — № 3. — С. 44—48.



ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 656.13.08

РОЛЬ НАДЁЖНОСТИ ВОДИТЕЛЯ В БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук **РАГИМОВ Э.А.**

Институт географии имени акад. Г. Алиева
НАН Азербайджана (elmar_rahimov@yahoo.com)

Представлен анализ исследовательских работ с учётом влияния различных факторов на надёжность водителя транспортного средства. Описаны средства и методы проведения исследований. Даны рекомендации по созданию стенда для исследования влияния психофизиологического состояния водителя на безопасность дорожного движения.

Ключевые слова: надёжность водителя; дорожное движение; автомобиль; транспортная среда; дорожные происшествия; безопасность дорожного движения.

Rahimov E.A. THE ROLE OF DRIVER RELIABILITY IN ROAD SAFETY

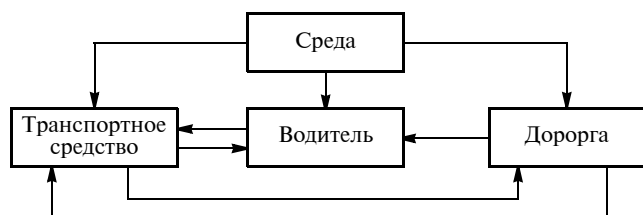
The article presents an analysis of research work taking into account the influence of various factors on the dependability of a vehicle driver. Means and methods of research are described. Recommendations are given on creating a stand for studying the in-

fluence of the psychophysiological state of the driver on road safety.

Keywords: driver dependability; road traffic; automobile; traffic environment; road accidents; road safety.

Анализ большинства дорожно-транспортных происшествий показывает, что самой слабой частью системы "водитель—автомобиль—дорога—среда", ограничивающей её эффективность и надёжность, является человек. Водитель как оператор этой системы [1, 2] получает большую часть информации от дороги, данных от движущихся и стоящих на ней объектов, дорожных знаков, светофоров, состояния поверхности и дорожной обстановки и оперативно на них реагирует. То есть в системе "водитель—автомобиль—дорога—среда" происходит непрерывный обмен информацией: от автомобиля и дороги к водителю поступает информация, а от водителя к автомобилю — управляющие действия. Выполняя последние, водитель получает информацию о результатах этих действий по каналам обратной связи и, в соответствии с изменившейся ситуацией, выполняет следующие необходимые управляющие действия.

Таким образом, система ВАДС представляет собой систему регулирования, в которой положение автомо-



Система "водитель—автомобиль—дорога—среда"

бия относительно дороги является переменной вождения, водитель — регулятором, а автомобиль — регулируемым объектом. Все части этой системы взаимосвязаны, взаимозависимы и определяют надёжность друг друга.

Надёжность водителя как оператора системы зависит от его способности воспринимать и обрабатывать поступающую информацию. Информация поступает и передаётся через органы чувств: зрение, слух, суставы и мышцы, вестибулярные и тактильные ощущения, обоняние, а также висцеральный анализатор, из которого кора головного мозга получает информацию от внутренних органов [3].

Вина водителей в ДТП по статистике составляет от 65 до 85 % [4]. Одной из причин аварий наряду с низкой дисциплиной является плохая подготовка водителей, несмотря на то, что к уровню их профессиональной подготовленности предъявляются всё более строгие требования [5].

Ведущий машину водитель находится в постоянном напряжении. В движении он постоянно воспринимает и интерпретирует быстро меняющуюся дорожную ситуацию, положение, скорость и состояние своего автомобиля, мгновенно принимает решения и выполняет их. Такое активное и непрерывное течение психических явлений в быстро меняющихся условиях и опасностях увеличивает напряжение нервной системы и приводит к усталости, а иногда и к переутомлению водителя [6].

Плохое самочувствие водителя, заболевание приводят к снижению его эффективности и, соответственно, увеличению вероятности несчастных случаев. Недостатки в сознании водителей являются причиной аварии. Поэтому исследования влияния психофизиологического состояния водителя на безопасность дорожного движения имеют первостепенное значение. Наряду с неоспоримыми преимуществами автомобилизации, существует тенденция к увеличению людских и материальных потерь в результате аварий с участием транспортных средств.

Сложные дорожные ситуации, в которых возможны ошибочные действия, возникают у любого водителя относительно часто, и поэтому, согласно статистике, примерно раз в месяц он попадает в конфликтную ситуацию и в среднем раз в 6 лет может становиться участником ДТП [7].

Дорожно-транспортные происшествия наносят огромный ущерб обществу, их число растёт из года в год и уже достигает катастрофических значений. По данным Агентства ООН по статистике, на дорогах гибнет

около 40 000 человек в год, а экономический ущерб от этих аварий составляет около 200 млрд. евро в год. К этому следует добавить ущерб, вызванный авариями без жертв, которые происходят гораздо чаще [8]. Это то, что касается первичных потерь. В дополнение к этому, всё ещё существуют вторичные потери, в том числе расходы на необходимое медицинское обслуживание, социальные расходы, потеря трудоспособного потенциала, потеря транспорта и т.д. Общий уровень потерь определить сложно [9].

Чтобы обеспечить надёжность и безопасность работы, водитель любого транспортного средства должен быть самым бдительным. Это обеспечивается соответствующим психофизиологическим состоянием, на которое влияют многие факторы. Исследования влияния психофизиологического состояния водителя на безопасность дорожного движения имеют первостепенное значение и его актуальность неоспорима. При проведении таких исследований необходимо проанализировать мозговую активность водителя [10].

Для анализа и исследования мозговой деятельности человека применяются сегодня различные методы и инструменты. Одним из таких методов на протяжении многих лет была идентификация, измерение и анализ электромагнитных импульсов, возникающих в мозге. Благодаря этому методу появились такие области, как электроэнцефалография и магнитоэнцефалография.

Со временем эти подходы к изучению мозговой деятельности превратились в важные и широко используемые научные дисциплины. Среди их основных преимуществ — скорость получения соответствующих сигналов мозга и точность их измерения. С другой стороны, использование обоих этих подходов чревато многими проблемами, особенно если измерения не проводятся в лабораторных условиях.

Измерение электромагнитных сигналов мозга и их последующий анализ широко используется в медицине и других областях. Этот метод имеет много преимуществ, особенно стоит подчеркнуть, с какой лёгкостью можно читать сигналы из головы человека, в то время как человек ничего не чувствует, а большое количество информации поступает в места нахождения учёных.

Поскольку записанные сигналы в основном являются квазипериодическими и квазистационарными, для их анализа нельзя использовать известные методы Фурье, что можно отнести к недостаткам этого подхода. Описанная выше проблема установления контакта не проявляется в случае магнитоэнцефалографии, которая заключается в измерении магнитной составляющей электромагнитных волн, генерируемых человеческим мозгом. Однако тот факт, что сегодня паразитные магнитные поля присутствуют практически везде, заставляет нас проводить эти измерения с особой осторожностью под антимагнитным экраном. Такие экраны не только занимают много места и очень тяжёлые, они также являются очень дорогими.

Таким образом, подобный эксперимент не может быть реализован в салоне движущегося автомобиля.

По этой причине этот метод также может быть использован исключительно в лабораторных условиях.

Учитывая все достоинства и недостатки вышеуказанных методов, предлагается разработать *комбинированный электромеханический анализ активности мозга*. В этом способе можно объединить преимущества электромагнитных и механических методов при сведении к минимуму их недостатков [11]. В настоящее время наиболее распространённым симулятором для проведения таких исследований является симулятор немецкой компании "VRtainment" [12]. Все его основные элементы имитируют европейские автомобили среднего класса. Это руль с двумя педалями и рычагом переключения передач. Сигнал от механизмов управления поступает на компьютер, где выполняется обработка. Оператор надевает 3D LCD очки, на экране которых отображается ранее известный пейзаж.

Недостаток этого симулятора в том, что вы не можете создавать и изменять ландшафт. Кроме того, стенд не позволяет имитировать работу узлов и агрегатов автомобиля. К тому же, описанный стенд не может отвечать внезапным требованиям эксперимента.

В связи с этим возникает необходимость в создании симулятора, позволяющего моделировать агрегаты и автомобиль в целом и на основе этого исследовать состояние водителя. Поэтому был разработан стенд, отвечающий вышеуказанным требованиям. С точки зрения эргономики водителя это ближе всего к реальности, поскольку используется настоящий автомобиль. Объект сидит в реальной кабине, а виртуальные пейзажи проецируются на стену экрана перед капотом автомобиля. Создана поддержка для создания ландшафтов с использованием реальных данных. Результаты измерений с использованием такого устройства являются более надёжными. У них нет ошибки, вызванной разницей между симулятором и реальной машиной.

Структура нашего симулятора разделена на четыре модуля. Первый модуль это — симулятор устройства, который состоит из программного и аппаратного обеспечения. Программное обеспечение симулятора состоит из движка виртуальной реальности (3D-графика и пространственного звука) и физического движка. Фактическое поведение моделируемой машины является предпосылкой для получения хороших экспериментальных результатов. По этой причине необходимо уделять большое внимание реалистичному поведению автомобиля.

Второй модуль симулятора представляет собой кабину, которая состоит из частей реальной машины и компьютеров, подключенных к сети. Следующий модуль это — база данных тестовых треков и автомобилей.

Чтобы получить объективные результаты, необходимо иметь определённую сложность трассы. Последний модуль представляет инструменты для создания активов, которые составляют треки. В основном это моделирование 3D-объектов и инструментов для авто-

матизации такого процесса и баз данных имитируемых объектов. Каждый объект в виртуальной реальности сопровождается текстурой.

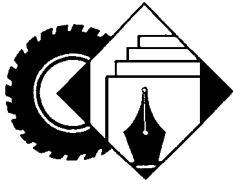
Текстура такой картинке, которая упрощает создание трёхмерного объекта, может быть разных типов. Шлем с датчиками, позволяющими полностью имитировать сигналы в формате 3D, надевается на голову тестируемого оператора. Датчик, подключенный к голове, сканирует голову оператора. Эти данные в основном используются для оценки движения проецируемого изображения, и эти данные могут быть сохранены в базе данных для дальнейшего анализа мозговой деятельности водителя [10].

Таким образом, на основе анализа существующих конструкций автомобильных тренажеров для подготовки водителей автотранспортных средств был разработан интерактивный автомобильный симулятор, который обеспечивает всестороннюю подготовку будущих водителей по безопасному поведению за рулём.

В настоящее время рост автопарка Азербайджанской Республики и постоянный рост интенсивности движения выдвигают на первый план проблему безопасности дорожного движения как важнейшую государственную задачу. Поэтому рассматриваемая проблема актуальна не только в Азербайджане, но и во всем мире. В связи с этим работу в этом направлении необходимо форсировать.

Литература

1. Рагимов Э.А. Исследование водородных автомобилей на транспорте. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2020. — № 9. — С. 18–23. DOI: <https://dx.doi.org/10.25791/pribor.09.2020.1205>.
2. Абишев К.К. К вопросу о надёжности водителя автотранспортного средства. Вестник Семейного государственного университета им. Шакарима. — 2015. — № 2 (70). — С. 3–6.
3. Волошин Г.Я., Мартынов В.П., Романов А.Г. Анализ дорожно-транспортных происшествий. Транспорт, 1987.
4. Гасилова О.С., Сидоров Б.А., Чернышев О.Н. Влияние на конфигурацию перекрестка безопасности дорожного движения. Современные проблемы науки и образования. — 2012. № 5. — С. 94–96.
5. Иларионов В.А., Куперман А.И., Мишуринов В.М. Правила дорожного движения и основы безопасного вождения. Транспорт, 1989.
6. Пинта А.А. Как водить себя и машину или психология вождения. Кооперативный эконавт., 1989.
7. Новак М., Вотруба З., Фабер Дж. Влияние ошибок внимания водителя на надёжность и безопасность транспорта и возможности его минимизации. Лекция на конференции, SSGRR-2003. 2003.
8. Новак М., Вотруба З. Симпозиум "Проблемы влияния человеческого фактора на безопасность автомобилей" в Санта-Кларе по проблемам Интернета и междисциплинарных исследований, SSCPI-2004. 2004.
9. Иванов В.В. Влияние социально-экономических факторов и развития дорожной сети на безопасность дорожного движения. Наука и технологии в дорожном секторе. — 2005. — № 3 (34). — С. 34–38.
10. Клебельсберг Д. Психология транспорта. Транспорт, 1989.
11. Новак М., Фабер Дж., Вотруба З. Проблемы надёжности взаимодействия человека и искусственных систем. Монография, 2004.
12. Рагимов Э.А. Перспективы автоматизированных автомобилей для снижения транспортной энергии. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. — № 11. — С. 11–16. DOI: <https://dx.doi.org/10.25791/pribor.11.2019.1001>.



ИНФОРМАЦИЯ

За рубежом



ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ФОРМАТА 5G УСКОРЯЮТ РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНОГО ВОЖДЕНИЯ В КИТАЕ

Канд. экон. наук **С.Л. САЗОНОВ, ВАН ЦЗИНВЭЙ** (КНР)
Институт Дальнего Востока РАН (sazonovch@mail.ru,
wjw07@yandex.ru)

В наши дни китайские производители автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, стремятся ворваться на стремительно развивающийся рынок беспилотных автомобилей по степени автономности управления уровней L-4 и L-5, то есть предусматривающий полную независимость машины от водителя. Сегодня в Китае развитие автоматизации трафика происходит поэтапно — от появления встроенных в автомобиль умных девайсов и установки систем автоматической поддержки контроля автомобилей до частичной автоматизации контроля за их движением. Внедряемый в Китае в настоящее время новый стандарт связи 5G в разы увеличивает скорость обмена информацией в системе подключенного транспорта и обеспечивает эксплуатацию беспилотных автомобилей в условиях реального трафика. Автомобили смогут коммуницировать между собой и самостоятельно принимать мгновенные решения о состоянии трафика на основе информации посредством системы связи формата 5G, полученной от других автомобилей или центрального сервера (в сетях связи формата 4G обеспечить подобный сервис невозможно, т.к. задержка сигнала слишком велика для принятия решения в режиме реального времени). Согласно плану Госсовета КНР, в 2022 г. не менее 50 % всего объема продаж новых "зеленых" автомобилей должны составлять "умные" автомобили, оснащенные технологиями частичного или полностью беспилотного вождения, а в 2027 г. этот показатель должен возрасти до 85—90 %.

Ключевые слова: Китай, система связи формата 5G, автомобильная промышленность, датчики, беспилотное (автономное) вождение, трафик, интерактивная информация, технология передачи данных, "новая инфраструктура".

Sazonov S.L., Wang Jingwei HOW THE 5G MOBILE COMMUNICATION TECHNOLOGY ACCELERATES THE DEVELOPMENT OF DRIVERLESS DRIVING IN CHINA

In our days, Chinese manufacturers of cars, using alternative energy sources, are trying to break into the rapidly developing market of self-driving cars of the L-4 and L-5 levels' degree of control autonomy, providing the car's complete independence from the driver. Today, the development of traffic automation in China emanates gradually - from the appearance of smart devices, built into the car, and the installation of automatic support systems for cars' monitoring to partial automation of their movement control. The new 5G communication standard, currently being implemented in China, significantly increases the speed of information exchange in the connected transport system and ensures the operation of driverless cars in real traffic conditions. Cars will be able to com-

municate with each other and independently make instant decisions about the state of traffic based on information via a 5G communication system received from other cars or Central server (in 4G communication networks, it is impossible to provide such a service, because the signal delay is too long for making decisions in real time). According to the plan of the PRC State Council, in 2022 at least 50 % of all sales of new "green" cars should be accounted for by "smart" cars equipped with technologies of partial or completely unmanned driving, and in 2027 this figure should increase to 85—90 %.

Keywords: China, 5G communication system, automotive industry, sensors, driverless (autonomous) driving, traffic, interactive information, data transfer technology, "new infrastructure".

Беспроводная сеть мобильной связи 5-го поколения обещает более высокую скорость, меньшую задержку или "зависание" при подключении к сети, а также возможность подключения многих устройств к Интернету без перегрузки системы (максимальная плотность подключенных к сети устройств — 1 млн устройств/кв. км в городских условиях, и возможность работы автономных датчиков не менее 9—10 лет без подзарядки и поддержке мобильности при скоростях движения устройств до 500 км/ч) [1]. "Умная" скоростная автомагистраль на базе системы связи формата 5G позволит собирать информацию о транспортном потоке в реальном времени и делать прогнозы на основе интеллектуальной агрегации и анализа больших объемов данных. Сети мобильной связи пятого поколения обеспечивают ещё большие, чем в сетях 4G скорости передачи данных, сверхнизкие задержки и возможность одновременного подключения миллионов устройств. Одним из бенефициаров от широкого внедрения системы связи формата 5G безусловно является автомобильная промышленность КНР, которая получает прочную основу для создания автомобилей, управляемых без помощи водителей. Такие автомобили, оборудованные сотнями различных датчиков, могут самостоятельно (без помощи человека) получать информацию о трафике и избегать столкновений с людьми, животными, дорожной инфраструктурой и прочими участниками движения — эти технологии получили название V2V (vehicle-to-vehicle, связь автомобиля с другим транспортным средством), V2X (vehicle-to-everything, передача информации от автомобиля любому объекту, который может оказать влияние на транспортное средство, и наоборот), V2I (vehicle-to-infrastructure, автомобиль—дорожная инфраструктура). Установленные на автомобилях сенсоры будут собирать информацию о дорожной ситуации, препятствиях и объектах, находящихся вблизи автомобиля. Далее собранные данные будут либо анализироваться вычислительным устройством, установленным непосредственно в автомо-

биле, либо будут направляться в облако для централизованной обработки. И именно второй путь более предпочтителен, т.к. позволяет при принятии решения о том или ином маневре автомобиля принимать в расчёт не только локальную информацию, но и данные, собранные с сенсоров, размещённых на других автомобилях и элементах инфраструктуры [2].

В период 2019—2021 гг. КНР проводит масштабные испытания стандарта мобильной связи 5G, которые способствуют развитию не только телекоммуникаций, но и IoT для автомобильных приложений — эта технология будет обеспечивать реальную скорость работы: около 20 Гбит/с (для загрузки данных) и более 10 Гб/сек (для передачи данных). Также технология связи 5G будет способна обрабатывать запросы более 1 млн устройств на 1 кв. км [3]. Следует учитывать, что при движении одной автомашины она может использовать сеть со скоростью передачи 4G, но если на дороге несколько сотен или тысяч машин, то пропускной способности этой системы будет явно недостаточно. Автомобили должны быть подключены к сети связи 5G и коммутировать между собой, определять положение и скорость соседних автомобилей (чтобы избежать столкновений), получать и передавать информацию о трафике (например, выявлять состояние дорожного полотна, работу светофоров, наличие пешеходов на переходах и т.п.). Система связи 5G будет стимулировать развитие Интернета вещей, поддерживая взаимодействие и функционирование беспилотных автомобилей, с минимальным вмешательством человека или вообще без его участия, а приложения для автономных автомобилей будут обеспечивать связь автомобилей с окружающей средой посредством их подключения к информационной сети, которая применяет систему управления движением. Одно из главных преимуществ этих систем состоит в уменьшении возможных рисков ошибки водителей во время движения на больших скоростях, а главным фактором безопасности автономной поездки является отсутствие проблем с передачей данных, а также время отклика, которое должно стремиться к нулю. В сетях системы 4G даже при оптимальных условиях автомобилю нужно около 20 миллисекунд для взаимодействия с другими автотранспортными средствами — поэтому, для обеспечения нужного уровня дорожной безопасности такие значения должны быть сокращены до нескольких миллисекунд. Помимо решения проблемы временного отклика (т.е. сетевых задержек), эти приложения должны обладать самой высокой степенью надёжности для адекватного решения задачи по автоматизации автомобилей — эти требования могут быть выполнены за счёт обеспечения 100 % сетевого покрытия с охватом всей автодорожной инфраструктуры [4].

Сегодня в Китае развитие автоматизации трафика происходит поэтапно — от появления встроенных в автомобиль умных девайсов и установки систем автоматической поддержки контроля автомобилей до частичной и полной автоматизации контроля за их движением. Основные преимущества эволюции этих систем заключаются в усилении безопасности и более эффективном использовании времени при осуществлении вождения, а будущее развитие сетевых технологий в Китае имеет значительный потенциал, связанный с развитием бес-

пилотного вождения и созданием "умных" городов. Массовое внедрение сетей мобильной связи 5G в КНР планируется осуществить в период 2020—2022 гг., и многие научные центры в стране активно вовлечены в их разработку, понимая исключительную важность выявления технологической и коммерческой стратегии по развитию данной технологии в период следующих 5—10 лет. В ноябре 2019 г. заместитель министра Министерства науки и техники Ван Си заявил, что в Китае созданы два научных центра для разработки системы сотовой передачи данных следующего поколения в формате 6G, которая появится после сверхбыстрого 5G. На своем веб-сайте министерство сообщило, что один из центров состоит из правительственных учреждений, отвечающих за соответствующую политику, а другой состоит из 37 экспертов из колледжей, исследовательских академий и предприятий, которые, как ожидается, будут консультировать политиков [5]. По информации Министерства промышленности и информатизации КНР, в 2020 г. китайские учёные приступили к исследованиям в области применения технологии 6G в автомобильном комплексе, причём, по мнению китайских специалистов, исследования стандарта связи следующего поколения требуют значительного периода времени, поскольку для перехода от разработок к коммерческому использованию требуется около 10 лет. Благодаря внедрению технологии стандарта связи 6G скорость скачивания может достичь 1 терабайта/сек. (терабайт (единица измерения количества информации, равная 10^{12} (трлн) или 2^{40} байт), а скорость передачи данных увеличится в 1 тыс. раз, чем сегодня обеспечивают технологии 5G. Одним из основных изменений станет использование ИИ — в будущем он сможет справиться с обработкой большого объёма передаваемой информации, а также будет обеспечивать гораздо более быстрый доступ к сети для множества водителей АИИЭ одновременно, уменьшая помехи, улучшая качество и повышая скорость передачи данных и ёмкость сети [6].

В марте 2020 г. Китай обнародовал амбициозный план по разработке собственных стандартов для автономных транспортных средств к 2025 г., которые, по мнению аналитиков, создадут обширные инвестиционные возможности и трансформируют автомобильную промышленность страны. В общей сложности 11 министерств и ведомств, ГКРП и Министерство промышленности и информационных технологий КНР обнародовали документ под названием "Стратегия разработки интеллектуальных транспортных средств". Согласно документу, Китай к 2025 г. в основном завершит разработку своего набора стандартов для автономных АИИЭ, охватывающего такие аспекты, как технологические инновации, дорожная инфраструктура, законодательство, надзор и безопасность сетей. В частности, в стране поставлена задача по реализации "масштабного производства АИИЭ, способных к условному автономному вождению" и ожидается, что в 2025 г. будет достигнут прогресс в программах "умный" транспорт и "умный" город [7]. Согласно плану, некоторые регионы страны будут иметь полный доступ к беспроводной сети LTE-V2X для АИИЭ, а беспроводная сеть нового поколения для транспортных средств 5G-V2X будет постепенно внедряться в некоторых городах и скоростных автомагист-

ралях уже после 2025 г. (в течение последних нескольких лет некоторые китайские и иностранные компании, в том числе "Ауди", "Чаньян" и GM, тестируют технологии V2X в КНР). В документе отмечается, что "У Китая есть стратегические преимущества для разработки автономных АИИЭ, в стране есть несколько телекоммуникационных и интернет-гигантов мирового класса, Китай лидирует в сфере коммуникационных и навигационных систем мобильной связи 5G и является крупнейшим в мире рынком АИИЭ". Ли Цзюнь, член Китайской инженерной академии, отметил, что, помимо автомобильного сектора, от новой стратегии выиграют многие отрасли, включая производство микросхем и датчиков, разработка и внедрение систем и алгоритмов ИИ, а после обнародования Стратегии стоимость акций многих компаний в соответствующих секторах стремительно выросла [8].

В начале 2019 г. телекоммуникационная китайская компания "Чайна Мобайл" создала в новой экономической зоне Сюньань (пров. Хэбэй) комплекс, включающий сеть 5G, широкополосный гигабитный интернет и интернет вещей NB-IoT для мониторинга, геолокации и онлайн диагностики и в ноябре 2018 г. в рамках первого китайского общенационального научно-технического спецпроекта по беспилотным автомобилям со встроенной технологией 5G на испытательном полигоне технологий 5G операторов "Чайна Мобайл" и Чайна Телеком" в новой экономической зоне Сюньань были завершены приёмо-сдаточные испытания комплекса, организованные Министерством промышленности и информатизации КНР. Данные испытания были организованы научно-исследовательским институтом информации и коммуникаций Министерства, выступившим в качестве независимого подразделения, ответственного за проведение тестирования. Компании ZTE, "Байду" и "Чайна Телеком" приняли совместное участие в испытаниях и активно сотрудничали в целях успешного завершения всех этапов тестирования, проводимого в полевых условиях сети связи 5G. В ходе испытаний по всем тестируемым параметрам были достигнуты результаты, соответствующие номинальным показателям, заявленным в спецпроекте, а по некоторым из них результаты оказались даже выше ожидаемых. В отличие от испытаний беспилотных автомобилей в закрытом пространстве, данные тестирования проходили на настоящей дороге с нерегулируемым движением в районе Сюньань. В ходе испытаний тестировались основные функциональные показатели V2C (связь транспортного средства с облаком), V2V и V2X, динамическая загрузка и обновление карт высокого разрешения, автоматическое обновление маршрута беспилотного автомобиля на основе динамически обновляемых HD-карт и другие ключевые функции автоматизации беспилотного вождения, реализованные с помощью технологии 5G [9]. Результаты испытаний показали, что пропускная способность и время задержки передачи сигнала сети связи 5G позволяют поддерживать автоматическое управление беспилотными автомобилями как в сценариях с использованием HD-карт, так и в классических сценариях беспилотного вождения. Данные приёмо-сдаточные испытания, проводимые в рамках крупного спецпроекта — это дополнительный стимул для развития беспилотных

автомобилей и сетей связи 5G в Китае, а также подтверждение зрелости этих технологий. Комплексное сетевое решение 5G, предоставленное операторами для проведения испытаний, включало в себя виртуализированное ядро сети 5G, низкочастотную базовую станцию 5G, специализированные тестовые терминалы 5G и другое серийное оборудование. При этом используемые активные антенные системы (AAU) являлись самыми маленькими по размеру низкочастотным оборудованием связи 5G в отрасли и они полностью соответствовали различным сценариям и операционным требованиям для коммерческого развертывания сетей связи 5G. В результате проведённого тестирования были проверены в действии такие функции автомобилей, как запуск, ускорение, замедление и поворот на дальности 20 км, причём после приёма сигналов через сеть связи 5G задержка в управлении автомобилем составила не больше 6 миллисекунд. 22 октября 2019 г. действующий председатель правления компании Huawei Сюй Чжицзюнь на конференции по "умным" автомобилям отметил, что "Хуавей" использует технологию связи 5G в целях разработки лазерного дальномера и радара миллиметрового диапазона для автономного вождения — таким образом, Huawei окажет помощь автомобильным компаниям в создании и эксплуатации "умных" автомобилей. Самым большим преимуществом компании являются разрабатываемые технологии ИИ и облачных вычислений, позволяющие компании "Хуавей" создавать интеллектуальную платформу для вождения на базе собственных микросхем. На этой платформе Huawei намерен разработать единый интерфейс прикладного программирования (API) системного уровня, обеспечивающий удержание полосы движения, навигации и другие самостоятельные действия автономными автомобилями, причём пассажир должен лишь сообщить автомобилю нужный пункт назначения [10].

Облачные вычисления (*cloud computing*) — это метод управления ресурсами ИТ, дата-центрами, в которых размещаются серверное и сетевое оборудование с виртуальной инфраструктурой. Облачные технологии крайне необходимы в процессе передвижения автомобиля, поскольку современные инновационные АИИЭ представляют собой не только набор механических элементов и электронных компонентов, но и сложное программное обеспечение, являющееся основой программируемых сервисов, помогающих водителю управлять автомобилем. Облако подключенного АИИЭ (*connected vehicle cloud*) изменяет автомобильную электронику и способ взаимодействия водителя с автомобилем и является частью комплексной автоматизированной системы, которая позволяет подключенным АИИЭ в режиме реального времени обмениваться данными о ситуации на магистралях с целью повышения безопасности и эффективности организации трафика. Сегодня основными инструментами оповещения водителя являются дорожные знаки, поэтому Облако подключенного трафика (*connected traffic cloud*) позволяет передавать актуальную информацию о каждом участке пути на дисплей бортового компьютера, что обеспечивает непрерывную связь с дорожной обстановкой и водителями других автомобилей. Именно этими вопросами занимается компания "Хуавей", которая разрабатывает новую техноло-

гию, позволяющую АИИЭ определять местоположение дорожных промоин, сломанных ливневых решеток и крышек дорожных люков, а затем через облако делиться полученной информацией с дорожными службами и другими участниками дорожного движения. Получив предупреждение от впереди идущего АИИЭ, водитель получает дополнительное время, чтобы сбросить скорость и избежать вероятности повреждения колеса или подвески, что, в свою очередь, уменьшает вероятность случаев ДТП, а если бортовая система АИИЭ фиксирует опасный (обледеневший, либо скользкий участок магистрали), то вся информация об этом загружается в базу данных, а затем направляется всем автомобилям, которые приближаются к проблемному участку магистрали. Собранные информация о проблемах полотна дороги направляется в соответствующие дорожные службы, что значительно повышает качество обслуживания магистралей этими службами. Что касается датчиков, Сюй Чжицзюнь заявил, что "Хуавей" не только представит для них умную платформу, но и лазерный дальномер и радар миллиметрового диапазона с целью повышения безопасности при движении автомобилей. В 2013 г. компания "Хуавей" сформировала операционный отдел по изучению проблем автомобильной сети, запустила в серию модуль ME909T и приступила к научно-исследовательским разработкам в области автомобильного интернета и автономного вождения, а с 2017 г. "Хуавей" совместно с БМВ, "Донфен", "Чаньян", "Ауди", "Мерседес Бенц" и ПСА сотрудничают по проектам развития автомобильного интернета. Корпорация "Сяоми" разработала и приступила к продажам голосового устройства "Carrobot Smart Head-Up Display", которое используется при навигации и управлении в любом транспортном средстве, — устройство представляет собой проекционный дисплей на котором отображается вся интерактивная информация, которая может быть полезна водителю, а именно скорость автомобиля, обороты мотора, навигация, расстояние до конечного пункта поездки [11].

В конце ноября 2019 г. в г. Чэнду (пров. Сычуань) был введён в эксплуатацию первый городской автобус, использующий мобильную связь формата 5G. Автобус, который отправляется в путь по маршруту протяжённостью 28 км, курсирует от одного до двух раз в неделю с нерегулярными интервалами. Пассажиры пользуются различными элементами связи 5G, включая программы 5G интерактивного телевидения (IPTV), просмотр в реальном времени популярных туристических достопримечательностей города и игры с малой задержкой с помощью очков виртуальной реальности. По данным оператора группы общественного транспорта Чэнду, на маршруте для сбора данных о пассажиропотоках в режиме реального времени на автобусных станциях и отслеживания поведения водителей также можно использовать технологии ИИ, что повысит эффективность диспетчеризации. Технологии связи 5G и ИИ будут иметь широкий спектр применений в общественном транспорте, таких как интеллектуальная диспетчеризация, анализ поведения водителя, распознавание лиц пассажиров и оплата проезда. В начале 2019 г. в г. Ханчжоу (пров. Чжэцзян) был открыт "Парк инноваций", основанный на применении технологии связи 5G, который является

первым технологическим парком в Китае, полностью покрытым сетью 5G и занимает площадь 100 тыс. кв. м. На церемонии открытия 11 учреждений и компаний подписали 10 соглашений, которые включали сотрудничество по развитию цифровой экономики, создание исследовательских центров ИИ и платформ для тестирования интеллектуальных транспортных средств. Ожидается, что благодаря увеличению скорости передачи данных, значительно превышающей скорость передачи данных при помощи 4G, технология связи 5G, будет стимулировать развитие цифровой экономики, что станет основой для имитационного моделирования программ, которые станут эффективным инструментом, активно применяющимся при проектировании интеллектуальных транспортных систем [12].

По мнению китайских аналитиков, в процессе внедрения базовых станций мобильной связи 5G возникают проблемы, связанные с высоким уровнем потреблением электроэнергии и необходимостью обновления программного обеспечения, однако в Китае эти проблемы решаются при помощи государственной поддержки. По данным "Чайна Тауэр" (основного национального поставщика услуг на базах систем связи 4G и 5G), одна базовая станция связи 5G потребляет около 3500 Вт, а станция связи 4G — всего 1300 Вт. Местные операторы, включая "Чайна Мобайл", "Чайна Телеком" и "Чайна Уником", уже потратили более четырёх млрд юаней (5,9 млрд долл.) на развитие технологий связи 5G, а центральные и местные органы власти ввели политику поддержки 5G, включая меры по дотированию затрат на электроэнергию для базовых станций связи, использующих технологию связи 5G и увеличению инвестиций в обновление программного обеспечения [13]. В период 2014—2019 гг. правительство Китая инвестировало более 720 млрд юаней в разработку технологий связи 4G, а в период 2020—2025 гг. рассчитывает вложить от 900 млрд юаней (134 млрд долл.) до 1,5 трлн юаней в развитие технологий связи 5G, что позволит к 2025 г. создать более 3 млн новых рабочих мест в стране. В 2019 г. объём мирового рынка технологий 5G оценивался в 24 млрд долл., а доля Китая составляла 9,2 % [14]. Китайские аналитики утверждают, что развитие технологии передачи данных 5G будет стимулировать увеличение темпов роста ВВП КНР на 0,1 процентных пункта в 2020 г. и на 5,8 процентных пункта в 2030 г. Согласно прогнозу аналитиков КААП, в 2025 г. объём мирового рынка автомобилей, оборудованных системами автономного вождения и *IoV*, составит 72,5 млн ед. общей стоимостью 1,48 трлн юаней (221 млрд долл.), ежегодные темпы роста этого рынка составят 10 %, а на Китай придётся около 45 % объёма этого рынка [15]. По оценкам "Чайна Мобайл" к 2030 г. в Китае количество автомобилей, оснащённых системами мобильной связи 5G, достигнет 50 млн ед., что предполагает большой потенциал развития беспилотного вождения. Аналитики Китайской академии информационных и коммуникационных технологий (CAICT) полагают, что к 2025 г. объём инвестиций в строительство сети связи 5G достигнет 1,2 трлн юаней (172,66 млрд долл.), что обеспечит генерирование мультипликативного эффекта в сопряженных отраслях промышленности в размере 3,5 трлн юаней (504 млрд долл.), а в течение следующих пяти лет эко-

номический рост, косвенно обусловленный развитием технологии связи 5G в КНР, составит 24,8 трлн юаней (3,5 трлн долл.) [16].

К началу августа 2019 г. в Китае было построено около 20 тыс. базовых станций связи 5G, причём 90 % процентов этих базовых станций находятся в городах первого уровня — Пекине, Шанхае, Гуанчжоу и Шэньчжэне (Пекин построил 7863 базовых станции 5G, Шанхай, Гуанчжоу и Шэньчжэнь установили около 3 тыс., 5 тыс. и 3777 станций 5G соответственно) [17]. К концу 2019 г. в КНР было построено более 100 тыс. базовых станций 5G (что на 50 % выше, чем ожидалось в начале года) и в апреле 2020 г., по данным Министерства промышленности и информатизации КНР, в стране насчитывалось 198 тыс. базовых станций мобильной связи пятого поколения, что позволило расширить распространение сети технологией 5G на города окружного уровня [18]. Согласно заявлению руководства Министерства, Китай готов ускорить процесс строительства сети станций связи 5G и, как ожидается, к концу 2020 г. в стране будет построено более 600 тыс. базовых станций 5G. Планируется, что к концу года все города окружного уровня Китая будут обеспечены постоянным наружным подключением к сети 5G, в то время как сетью пятого поколения будут охвачены ключевые районы в уездах, волостях и деревнях страны. Стоимость строительства базовой станции связи 5G значительна, а радиус её охвата составляет около 100—300 м, что меньше радиуса покрытия базовой станции 4G. По данным Министерства, в 2018 г. в Китае было 3,72 млн базовых станций 4G, поэтому, чтобы заменить существующие базовые станции связи 4G, в будущем Китаю предстоит построить как минимум 7 млн базовых станций 5G. Более того, объём инвестиций в строительство базовой станции 5G примерно в 1,5—3 раза превышает стоимость строительства базовой станции связи 4G и, поэтому, основные инвесторы проекта развития технологий 5G готовы привлечь значительные суммы для его имплементации [19]. Чтобы реализовать коммерческое использование станций связи 5G в более чем 50 городах Китая, к концу 2020 г. China Mobile планирует инвестировать 17,2 млрд юаней в эксплуатацию от 30 до 50 тыс. базовых станций связи 5G. В конце 2018 г. в Ухане (административном центре пров. Хубэй) насчитывалось 31 базовая станция 5G, а в период 2019 г. телекоммуникационная компания "Чайна Мобайл" запланировала инвестировать 1 млрд юаней (около 147 млн долл.) в строительство 2 тыс. базовых станций 5G в провинции Хубэй. Также руководство компании China Mobile заявило, что оператор начал испытания сетей 5G в 16 городах Китая, и ожидается, что подключение к сети устройств в этих городах будет запущено в период 2019—2021 гг., а всего по данным аналитиков компании за этот период внедрение беспроводной сети 5G, как ожидается, потребует создания 170 тыс. базовых станций по всей стране. Также было отмечено, что требуемый объём инвестиций в развитие сетей связи 5G на 50 % превышает объём инвестиций в развитие сетей связи 4G, а срок окупаемости инвестиции в расширение сети 5-го поколения составляет около 6—7 лет [20]. В свою очередь телекоммуникационная компания "Чайна Уником" в 2020 г. инвестирует от 6 до 8 млрд юаней в строительство 20 тыс. базовых станций 5G с целью покрытия

этой связью 33 города Китая, а инвестиции "Чайна Телеком" в 2020 г. составят 9 млрд юаней в строительство 20 тыс. базовых станций 5G в более чем 40 городах Китая. Для достижения того же масштаба покрытия, который обеспечивала сеть связи 4G, общий объём инвестиций в строительство сетей связи 5G в Китае составит 4 трлн юаней, а стоимость потребления электроэнергии сетью 5G составит более 40 % эксплуатационных расходов сети [21]. В 2019 г. общий объём инвестиций в развитие сетей 5G 3-х крупнейших операторов связи Китая составил около 34 млрд юаней (5 млрд долл.), что отражает умеренный рост, поскольку отраслевые аналитики прогнозируют, что инвестиции в беспроводные технологии следующего поколения будут долгосрочным процессом — "Чайна Мобайл", "Чайна Уником" и "Чайна Телеком" продолжат развертывание сетей 5G с общим объёмом инвестиций около 34,2 млрд юаней, что соответствует их прагматичной и осторожной стратегии. 2020 г. станет важным этапом дальнейшего развития сетей связи 5G, и ожидается, что "Чайна Мобайл" установит от 30 до 50 тыс. базовых станций, поддерживая почти тот же уровень расходов, что и в 2019 г. "Чайна Телеком" обнародовала свой бюджет на развитие сетей 5G в 2020 г. в размере 9 млрд юаней (в 2019 г. компания установила более 1 тыс. базовых станций связи 5G в 17 городах Китая, и, по прогнозам, в 2020 г. планирует построить около 20 тыс. станций). Оператор "Чайна Уником" намерена в 2020 г. инвестировать от 6 до 8 млрд юаней в развитие сетей 5G связи, причём глава компании Ван Сяочу отметил, что "сегодня не время для крупных инвестиций, поскольку отрасль нуждается в дальнейшем изучении бизнес-моделей". "Чайна Уником" обеспечит бесперебойный охват сетью связи 5G крупные города в стране — Пекин, Шанхай, Гуанчжоу, Шэньчжэнь, Нанкин, Ханчжоу и новый район Сюньань, а в 33 городах будут установлены пункты доступа к сети 5G. В апреле 2019 г. "Чайна Уником" и городское правительство Шанхая подписали соглашение по улучшению высокоскоростных сетей мобильной связи в мегаполисе, согласно которому компания намерена до 2021 г. инвестировать 15 млрд юаней (2,24 млрд долл.) в развитие оптоволоконных широкополосных сетей, чтобы превратить Шанхай в "город с широкополосной связью скоростью 2 гигабайта" [22].

Согласно утверждённому в апреле 2018 г. постановлению Государственного Совета КНР "О развитии инновационных автомобилей, оборудованных системой автоматического управления" базовая платформа для производства беспилотных автомобилей в Китае должна быть создана в 2020 г., а в 2025 г. 80 % производимых новых инновационных автомобилей "должны обладать функциями, обеспечивающими автономное вождение". В 2018 г. ГКРП Госсовета КНР объявил, что обнародует 3-летний план действий по развитию таких технологий для автомобилей с ИИ, как чипы и автоматические системы управления. Согласно международным оценкам, в 2030 г. парк 3-х ведущих мировых рынков беспилотных автомобилей КНР, США и стран Европейского Союза будет насчитывать 81 млн личных автомобилей, причём на Китай будет приходиться большая часть или около 40 % мирового парка беспилотных автомобилей или, согласно оценкам компании "Прайсуотерхаус Куперс", являющейся одной из ведущих мировых компаний,

представляющая услуги консалтинга и аудита, около 36 млн ед. [23]. Причём, судя по опросам, проведённым международной консалтинговой компанией "МакКинзи" (специализируется на решении задач, связанных со стратегическим управлением), в крупнейших городах Китая около 60 % опрошенных китайских респондентов были уверены, что их семьи будут пользоваться беспилотными автомобилями, тогда как показатель опроса в США выявил лишь 43 % положительных ответа, в Германии — 31 %. Принятая Государственным советом КНР "Программа развития автомобилестроения на основе энергосбережения и новой энергетики (2011—2020)", призвана ориентировать автомобильную отрасль КНР к переходу на массовое производство принципиально нового вида автомобилей, стимулировать инновационный прорыв в смежных отраслях, создавая там новые рабочие места, а также постепенно ослаблять негативные последствия, вызванные загрязнением окружающей среды. Эта Программа 4 января 2018 г. была дополнена не менее амбициозным планом правительства КНР — Госсовет КНР объявил, что в 2022 г. не менее 50 % всего объёма продаж новых автомобилей, использующие альтернативные источники энергии, должны приходиться на "умные" автомобили, оснащённые технологиями частичного или полностью беспилотного вождения, а в 2027 г. этот показатель должен возрасти до 85—90 %. По мнению главы корпорации "Байду" Ли Яньхуна, полномасштабное коммерческое использование беспилотных автомобилей в Китае может быть внедрено с опережением — в течение ближайших 3—5 лет [24].

В целях минимизации последствий вспышки коронавируса и стимулирования экономического развития на фоне растущего негативного давления со стороны глобальной рецессии, в марте 2020 г. на заседании Постоянного комитета Политбюро ЦК КПК было принято решение об ускорении развития "новой инфраструктуры", которая в отличие от традиционной транспортной инфраструктуры создаёт ключевые предпосылки для развития цифровой трансформации, интеллектуального обновления и инновационного развития и разделяется на три категории: *информационная инфраструктура*, поддерживающая научные исследования и инновационные разработки, обеспечивающие преодоление ограничений и устранение неэффективности независимой разрозненной структуры системы хранения данных и вычислительных ресурсов в традиционной ИТ-инфраструктуре; *конвергентная инфраструктура*, обеспечивающая расширение внедрения технологий систем мобильной связи 5G и 6G, Интернета вещей, промышленного и спутникового Интернета, облачных вычислений, "Больших данных", технологий блокчейн и искусственного интеллекта; и *инновационная инфраструктура*, стимулирующая развитие центров обработки данных, интеллектуальных вычислительных центров, создание "интеллектуальных" транспортных средств и "интеллектуальной" транспортной инфраструктуры. В апреле 2020 г. ГКРП принял решение об инвестировании в период 2020 г. дополнительно более 1 трлн юаней (141 млрд долл.) в "новые инфраструктурные проекты" в области разработки зарядных устройства для АИИЭ, строительства базовых станций мобильной связи формата 5G, крупных дата-центров, развития искусственного интеллекта и промышленного Интернета [25].

Источники

- Li Fangfang. Confidence in Innovation. Enterprises take active measures toward new ideas. URL: http://www.bjreview.com/Business/20190318/t20190318_800162219.html (дата обращения: 19.03.2019).
- Cheng Yu, Ma Si. China eyes measures to lift NEV demand. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/202004/24/WS5ea2319ca3105d50a3d187ae.html> (дата обращения: 24.04.2020).
- Cao Yingying. Carmakers embrace 5G technology to boost future mobility. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201902/11/WS5c60ebf4a3106c65c34e8a8e.html> (дата обращения: 12.02.2019).
- Riding the 5G express in 2019. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201912/23/WS5e002a79a310cf3e3557ffc4.html> (дата обращения: 25.12.2019).
- Li Xuanmin. Why is 6G important for China? URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1172827.shtml> (Source: Global Times Published: 2019/12/9) (дата обращения: 10.12.2019).
- Li Qiaoyi, Zhang Hui. Nation plans to extend lead over US in 6G race: experts. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1169363.shtml> (Last Updated: 2019/11/8) (дата обращения: 09.11.2019); Li Xuanmin. China carries out 6G research in full swing. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1172697.shtml> (Source: Global Times Published: 2019/12/8) (дата обращения: 10.12.2019).
- Song Lin. All major cities to get 5G network by end of 2020: MIIT statement. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1174562.shtml> (Source: Global Times Published: 2019/12/23) (дата обращения: 25.12.2019).
- Smart vehicle strategy set to put China strides ahead. URL: http://www.china.org.cn/business/2020-03/02/content_75763236.htm (дата обращения: 04.04.2020).
- Ma Si. Network growth to make nation biggest 5G market. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201903/21/WS5c92c83ca3104842260b1ae5.html> (дата обращения: 25.03.2019).
- Xu Keyue. China takes step forward in 5G deployment. URL: <http://www.globaltimes.cn/content/1139553.shtml> (Source: Global Times Published: 2019/2/20) (дата обращения: 25.02.2019).
- Shi Jing. Building digital economy ecosystems. URL: <https://www.chinadaily.com.cn/a/202003/02/WS5e5c6182a31012821727b774.html> (дата обращения: 03.03.2020).
- China leads in global 5G rollout. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1173465.shtml> (Source: Globaltimes.cn Published: 2019/12/14) (дата обращения: 15.12.2019).
- Yin Yeping. Govt support can resolve 5G base stations' cost challenges: analyst. URL: <https://www.globaltimes.cn/content/1174666.shtml> (Global Times: Published: 2019/12/24) (дата обращения: 27.12.2019).
- Cheng Yu. Nation calls for global partnership in 5G tech. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/202003/30/WS5c9ea8e4a3104842260b367d.html> (дата обращения: 30.03.2020).
- Zhou Mo. 5G will drive China's digital economy: Consultant. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201904/23/WS5cbeff71a3104842260b7db7.html> (дата обращения: 25.04.2019).
- New Infrastructure Construction to Push Economic Growth. China's construction of new infrastructure is expected to create new drivers for economic growth. URL: http://www.bjreview.com/Business/202003/20200315_800197102.html (дата обращения: 17.03.2020).
- China's first-tier cities build nearly 20,000 5G base stations: media reports. URL: <http://www.globaltimes.cn/content/1161062.shtml> (Source: Global Times Published: 2019/8/11) (дата обращения: 12.08.2019).
- China's 5G development reports marked progress despite COVID-19 disruptions. URL: http://www.china.org.cn/business/2020-04/24/content_75970006.htm (дата обращения: 25.04.2020).
- AI use set to grow in government offices nationwide. URL: http://www.china.org.cn/business/2020-01/02/content_75570880.htm (дата обращения: 03.01.2020).
- A more innovative China plays "leading" role in developing AI, big data, says scholar. URL: http://en.ce.cn/Business/opinion/202002/28/t20190228_31588364.shtml (дата обращения: 29.02.2020).
- Yang Yang. China to invest over 1 trillion yuan in 5G tech by 2025. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201912/29/WS5d413bcca310d83056402035.html> (дата обращения: 29.12.2019).
- China Unicom to launch 5G trial network in major cities. URL: http://www.china.org.cn/business/2020-04/24/content_74715400.htm (дата обращения: 25.04.2020).
- Smart vehicle strategy set to put China strides ahead. URL: http://www.china.org.cn/business/2020-03/02/content_75763236.htm (дата обращения: 04.04.2020).
- Li Fusheng. Global suppliers present electrified, autonomous solutions. URL: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201904/22/WS5cbd337fa3104842260b7848.html> (дата обращения: 24.04.2019).
- Li Xiaoyang. New infrastructure projects expected to boost economy. URL: http://www.bjreview.com/Business/202004/t20200422_800201690.html (accessed: 22.02.2020).

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ямалиева Р.А., Касьянов С.В. — Необеспеченность информацией для управления качеством в много-операционном техпроцессе по требованиям IATF 16949—16 1

Ларцева Т.А., Катанаева М.А., Стоева Н.И. — Менеджмент рисков процесса внутреннего аудита СМК 3

АСМ-факты 6

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Белюсов Б.Н., Бердников А.А., Люшин С.А. — Мехатронные системы — ближайший путь повышения эксплуатационных свойств тяжёлых автопоездов 7

Тарасик В.П., Пузанова О.В. — Методика определения энергетических параметров и характеристик электромобиля 12

Байбакова А.А. — Расчёт работы буксования автомобильного сцепления 17

Малиновский М.П. — Основные положения теории геометрического увода 19

Попов С.Д. — Опыт разработки крупногабаритных арочных шин для многоосных колёсных шасси 24

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Рагимов Э.А. — Роль надёжности водителя в безопасности дорожного движения 31

ИНФОРМАЦИЯ

За рубежом

Сазонов С.Л., Ван Цзинвэй — Технологии мобильной связи формата 5G ускоряют развитие беспилотного вождения в Китае 34

Главный редактор **Н.А. ПУГИН**

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Балабин И.В. — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана

Бахмутов С.В. — д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"

Гируцкий О.И. — д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ

Гладков В.И. — канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"

Ковригин А.С. — зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"

Комаров В.В. — канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО "НИИАТ" по научной работе

Коровкин И.А. — канд. экон. наук, исполнительный директор НП "ОАР"

Котиев Г.О. — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана

Круглов С.М. — зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"

Ксенович Т.И. — канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русоен"

Мамити Г.И. — д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)

Марков В.А. — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана

Сорокин Н.Т. — д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России

Тер-Мкртчян Г.Г. — д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"

Титков А.И. — канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"

Топалиди В.А. — канд. техн. наук, ТАДИ

Филимонов В.Н. — ответственный секретарь "АП"

Белорусский редакционный совет:

Альгин В.Б. — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ОИМ НАН Беларуси

Бурьян В.А. — главный конструктор ОАО "МЗКТ"

Кухаренок Г.М. — д-р техн. наук, профессор БНТУ

Лустенков М.Е. — д-р техн. наук, проф., ректор Белорусско-Российского университета (Могилёв)

Мариев П.Л. — д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника" ОИМ НАН Беларуси

Рынкевич С.А. — д-р техн. наук, БНТУ (Минск)

Степук О.Г. — генеральный конструктор — начальник НТЦ ОАО "БелАЗ"

Харитончик С.В. — д-р техн. наук, ректор БНТУ (Минск)

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русоен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*

Корректор *Сажина Л.И.*

Сдано в набор 09.11.2020. Подписано в печать 12.01.2021.

Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.

Отпечатано в ООО "Канцлер".

150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"

Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2

Телефоны: (915) 412-52-56 и (499) 269-54-98; (495) 785-60-69 (реклама и реализация)

E-mail: avtoprom-atd@mail.ru

www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № 77-7184

Цена свободная.

Журнал рекомендован ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, входит в международную базу данных "Chemical Abstracts".

За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.

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