Грузовик

10
2017

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"
Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

Д.Х. Валеев, д-р техн. наук
В.А. Волчков
С.М. Гайдар, д-р техн. наук
Л.В. Грехов, д-р техн. наук, проф.
В.А. Зорин, д-р техн. наук
В.В. Комаров, канд. техн. наук
В.А. Марков, д-р техн. наук, проф.
А.Н. Ременцов, д-р пед. наук, канд. техн. наук
О.Н. Румянцева, ген. дир. ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд. техн. наук, проф.
А.А. Солнцев, д-р техн. наук
В.С. Устименко, канд. техн. наук
Х.А. Фасхиев, д-р техн. наук, проф.
Н.Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф.

Корпункт:
Я.Е.Карповский (г.Минск)

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 12
Тел. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 2
Тел. (495) 661-03-36

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-63955 от 09.12.2015 г.

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2017

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Семенов А. Б., Муранов А. Н., Семенов Б. И.* Thixo- и PIM-технологии в современном двигателестроении

Исследования. Расчет

7 *Тарасик В. П.* Моделирование мехатронной системы управления фрикционами переключения передач автоматической трансмиссии автомобиля

16 *Янчевская Е. В.* Прогнозирование потенциального ресурса шин новых моделей

19 *Якубович А. Н., Якубович И. А.* Повышение эффективности моделирования надежности технических систем при использовании поверхностей отклика

Городской пассажирский наземный транспорт

23 *Максимов В. А., Поживилов Н. В.* Методика технологического расчета объединенного автобусного предприятия

Практика

27 *Фасхиев Х. А., Крахмалева А. В.* Модель управления конкурентным потенциалом предприятия автомобильного транспорта

37 *Быков А. Ю.* Оптимизация рабочих мест операторов при создании и модернизации строительной и специальной техники

Безопасность

41 *Столяров В. В., Щеголева Н. В., Кочетков А. В.* Необходимость в управлении транспортным риском для уменьшения числа погибших в дорожно-транспортных происшествиях

44 *Николаев П. А., Козловский В. Н., Подгорний А. С.* Оценка соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
Система Российского индекса научного цитирования www.elibrary.ru.
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 2015 г. — 0,208.
Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2014 г. по тематике "Транспорт" — 11; по тематике "Машиностроение" — 44. http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

10
2017

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"
Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

D.Kh. Valeev, dr.en.s.
V.A. Volchkov
S.M. Gaydar, dr.en.s., prof,
L.V. Grekhov, dr.en.s., prof.
V.A. Zorin, dr.en.s.
V.V. Komarov, PhD in en.s.
V.A. Markov, dr.en.s., prof.
A.N. Rementsov, dr.Hab, PhD in en.s.
O.N. Rumyantseva, General Director, JSC "Publisher "Innovative Engineering"
A.F. Sinel'nikov, PhD in en.s., prof.
A.A. Solntsev, dr.en.s.
V.S. Ustimenko, PhD in en.s.
Kh.A. Faskhiev, dr.en.s., prof.
N.D. Chaynov, dr.en.s., prof.

Correspondent's office:
Ya.E. Karpovsky (Minsk)

Address of the editorial office:
107076, Moscow, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 12
Ph. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; snp748@yandex.ru
http://www.mashin.ru

Address of publishing house
107076, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 2
Ph. (495) 661-03-36

The magazine is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor).
Registration number PI number FS77.-63955 on December 9, 2015

Subscription index:
according to the integrated catalog "Press of Russia" 39799

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2017

The reprint of materials from the "Truck" magazine is possible at obligatory written coordination with editorial office of the magazine. At the link to the "Truck" magazine is obligatory for a reprint of materials.

For contents of advertizing materials responsibility is born by the advertiser.

CONTENTS:

Design

3 *Semenov A. B., Muranov A. N., Semenov B. I.* Thixo- and PIM Technologies in Modern Engine-building

Research. Calculation

7 *Tarasik V. P.* Modeling of the mechatronic control systems of automobile automatic transmission gearshift clutches

16 *Yanchenskaya E. V.* The mileage potential prediction of new tire models

19 *Yakubovich A. N., Yakubovich I. A.* Improving the efficiency of modeling the reliability of technical systems when using response surfaces

Public passenger land transport

23 *Maksimov V. A., Pozhivilov N. V.* The method of technical calculation of technical base of an integral transit company

Practice

27 *Faskhiev Kh. A., Krakhmaleva A. V.* Competitive potential management model road transport companies

37 *Bykov A. J.* Optimization of operator workstations in the creation and modernization of construction and special equipment

Security

41 *Stolyarov V. V., Shchegoleva N. V., Kochetkov A. V.* Need for management of transport risk for reduction of the death toll in road accidents

44 *Nikolaev P. A., Kozlovskiy V. N., Podgorniy A. C.* Evaluation of vehicles meet the requirements of noise immunity to external electromagnetic influences

The journal is included in the list approved by the WAC RF publishers for publications of papers candidates degrees http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
System of Russian Science Citation Index www.elibrary.ru.
Five-year impact factor INDEX 2015 — 0.208.
Place in rating of SCIENCE INDEX for 2014, on the theme "Transport" — 11; on the theme of "Engineering" is 44.
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777
Information on the site "Autotransportnik.ru"

УДК [621.763+621.74.04]:[621.43+669-2]

А. Б. Семенов, канд. техн. наук, доц., **А. Н. Муранов,** инженер, **Б. И. Семенов,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО "МГТУ им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)"
E-mail: Semenov.Ab@bk.ru

THIXO- И PIM ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

В статье проведен краткий обзор информации о применении различных современных технологий для изготовления металлических деталей двигателей внутреннего сгорания и деталей автомобильной промышленности в целом. Описаны тенденции развития этих технологий. Показана эффективность использования технологии инжекционного литья порошковых композиций (MIM) для серийного и крупносерийного производства металлических деталей сложной формы.

Ключевые слова: *автомобильная промышленность, двигателестроение, серийное производство сложнопрофильных металлических деталей, технология инжекционного литья порошковых композиций, тиксоформинг.*

This article gives a brief overview of the information on the application of a various modern technologies for the manufacture of metal parts of internal combustion engines and parts of the automotive industry as a whole. Described some trends of evolution of these technologies. Showed the efficiency of the use of powder injection molding technology (MIM) for serial and mass production of metal parts with complex shapes.

Keywords: *automotive industry, engine-building, mass production of complex-metal parts, powder injection molding technology, tixoforming.*

(Рисунки на 2—4-й полосах обложки)

Обеспечение высоких технико-экономических показателей перспективных двигателей внутреннего сгорания основано на оптимизации их конструкции и режимов работы, использовании передовых методов проектирования, применении новых материалов и технологий [1, 2]. Анализ научно-технической информации о современных материалах и технологиях производства металлических деталей перспективных двигателей внутреннего сгорания является целью обзора.

Применение новых материалов и технологий имеет, на наш взгляд, следующую направленность:

— снижение массы деталей (в первую очередь подвижных) благодаря использованию материалов с низкой плотностью (легкие сплавы, керамики) и оптимизации конструкции деталей при применении новых материалов;

— повышение качества и точности сопрягаемых поверхностей деталей, обеспечение точности и постоянства формы и размеров деталей во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок на протяжении длительного срока эксплуатации;

— снижение экономических затрат на производство деталей, что подразумевает минимизацию количества технологических операций, минимизацию временных затрат, снижение энергоемкости производства и эксплуатации, повышение коэффициента использования материалов.

Современные технологии формообразования деталей потребовали использования новой совокупности методов обработки, изготовления, изменения состояния материалов, осуществляемых в процессе производства продукции, и нередко развиваются на основе объединения достоинств порошковой металлургии, методов обработки давлением и литейного производства. Мировые тенденции использования современных технологий изготовления металлических изделий отражены на рис. 1.

Область производства изделий максимальной сложности сегодня занимают технология аддитивного производства (AM — additive manufacturing) и технология инжекционного литья порошковых композиций (PIM — powder injection molding). При этом особенности технологий предопределяет их следующее разделение: AM-технология актуальна для мелкосерийного и единичного производства изделий, а PIM-технология — для серийного и крупносерийного производств. PIM-технология

позволяет изготавливать не только детали из металла (MIM — metal injection molding), но и керамические детали (CIM — ceramic injection molding). Однако 90 % рынка PIM-изделий в настоящее время составляют именно изделия на основе металлических порошков. MIM-технология, ставшая серьезным конкурентом литью по выплавляемым моделям и механообработке, вытесняет эти технологии там, где делается упор на миниатюризацию изделий, использование новых материалов и усложнение конструкции детали (табл. 1). Схема MIM-процесса с наиболее распространенными вариантами удаления полимерного связующего (дебиндинга) показана на рис. 2.

Технология MIM основана на смешивании металлических порошков заданного состава с полимерным связующим, последующем впрыске этой смеси в формообразующую полость литейной формы, отверждении отливки под давлением, извлечении отвержденной заготовки детали (зеленая деталь — деталь из полимера, наполненного металлическим порошком), удалении полимерного связующего (дебиндинг) и последующем спекании пористой металлической детали, в результате чего получается готовая (конечная) деталь. При необходимости после спекания готовая металлическая деталь подвергается дополнительной механической и химико-термической обработке.

Современный зарубежный рынок деталей, полученных инжекционным формованием из порошковых композиций, представляет собой сектор заготовительных производств с прогнозируемым к 2017 г. объемом продаж изделий более 2 млрд долл., этот рынок демонстрирует рост в среднем на 11 % в год, а по отдельным секторам на 40 % в год. В настоящее время общее число компаний в мире, производящих PIM-изделия, составляет более 400. Распределение долей использования MIM-технологии по секторам зарубежного машиностроения представлено на рис. 3. Так, наибольшие доли зарубежного рынка продукции MIM-технологии занимает производство деталей именно сектора автомобильной промышленности (17,9 %) и потребительских товаров, товаров электроники (совокупно 20,6 %) [3—5].

Широкое использование MIM-технологии в производстве деталей автомобиля началось и продолжается в США. MIM-детали используются в изделиях таких фирм, как Buick и Chrysler. Велика доля автомобильных MIM-деталей, производимых в Японии для фирм Honda и Toyota. Европейские производители MIM-деталей также нашли свою нишу, например, в приложениях, связанных с малыми высокопроизводительными двигателями. Передовыми компаниями рынка MIM-технологий являются компании GKN Sinter Metals (международная компания, большая часть производств которой находится в Германии) и Schunk Sintermetalltechnik GmbH (Германия), развивающих MIM-производство различных автомобильных де-

Таблица 1

Сравнение конкурирующих методов изготовления деталей

Характеристика	Инжекционное литье порошковых композиций (MIM)	Порошковая металлургия (Powder metallurgy)	Литье под давлением (Die casting)	Литье по выплавляемым моделям (Investment casting)	Механо-обработка (Machining)
Сложность формы	Высокая	Низкая	Высокая	Удовлетворительная	Высокая
Толщина стенки, мм	От 0,5 до 10	От 1,0 до 20	От 0,8 до 10	От 2,0 до 20	От 0,5 до 100
Качество поверхности Ra, мкм	От 0,4 до 2	От 2,0 до 5	5	5	От 0,2 до 4
Относительная прочность, %	Высокая (>96)	Удовлетворительная (70)	Низкая	Хорошая (>90)	Высокая (100)
Относительная плотность, %	От 95 до 100	Менее 95	от 99 до 100	от 99 до 100	От 99 до 100
Вес, г	От 0,01 до 300	От 5 до 2500	Var	от 1 до 1000	От 1 до 10000
Минимальный относительный допуск на размер, %	От 0,3 до 0,5	1,0	Var	от 0,5 до 1,0	Менее 0,1
Разнообразие материалов	Большое	Среднее	Небольшое	Среднее	Большое
Производительность	Высокая	Высокая	Высокая	Удовлетворительная	Низкая
Себестоимость	Средняя	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая

талей, некоторые примеры их продукции представлены далее (рис. 4). Производство сырья для MIM-технологий также сосредоточено в Европе — одним из крупнейших мировых производителей фидстоков является немецкий концерн BASF. Особенно эффективным оказалось использование MIM-технологии для производства деталей турбокомпрессоров, такие крупносерийные производства созданы и функционируют в Венгрии (Advanced Forming Technology) и Корее (P.I.M. Korea Co.) [6].

Существенным достоинством MIM-технологии является возможность изготовления изделий сверхсложной формы, что зачастую невозможно при использовании методов традиционной порошковой металлургии. Традиционные же литейные технологии, такие как литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), в свою очередь, не в состоянии обеспечить аналогичную размерную точность и прочностные характеристики деталей. Необходимо особо отметить высокое качество поверхностей деталей, получаемых по MIM-технологии. Шероховатость поверхностей MIM-деталей определяется преимущественно размерами металлического порошка, используемого в фидстоке; так, типичная шероховатость поверхностей MIM-деталей составляет менее Ra 2,5 [7]. В то же время для технологии ЛВМ шероховатость Ra 2,5 является предельно достижимой, а в общем случае шероховатость при ЛВМ лежит в диапазоне от Rz 20 до Rz 80. Примеры успешного применения MIM-технологии для изготовления автомобильных деталей показаны на рис. 5.

В итоге за последнее время применение MIM-технологии расширилось от области производства сложнопрофильных корпусных деталей до области ответственных деталей исполнительных механизмов. Гибкость технологических возможностей, которую обеспечивает MIM, не только повышает экономическую эффективность производства, но и способствует повышению качества конечной продукции, что предопределяет настоящее и будущее распространение и развитие этой технологии.

В целом развиваются именно технологии, обеспечивающие повышение качества материалов, что достигается лишь за счет возможности многомасштабного управления их структурой; технологии, реализующие восходящий процесс создания материала и детали, когда деталь и материал формируются одновременно. Примером такой технологии, объединяющей известные традиционные подходы литейного производства и обработки давлением, является технология тиксоформинга.

Тиксоформинг — это группы процессов, в которых формообразование осуществляется в твердожидком состоянии сплавов с помощью давящего на металл инструмента. Как и в случае с PIM технологией, формирование структуры продукта осуществляется в несколько стадий [8]:

— синтез жидкого сплава требуемого состава;

— управляемая кристаллизация с частичным отверждением металла и с обеспечением требуемых размеров, задаваемой недендритной морфологией и термодинамическим потенциалом частиц твердой фазы, влияющих на способность первичных кристаллов и окружающей их жидкости к относительным перемещениям и деформированию, пригодностью к формированию новых структур в очаге деформации;

— переработка на прессах, экструдерах, машинах ЛПД для формирования фасонных изделий или профильных полуфабрикатов с ранее недоступной структурой и свойствами.

Процессы тиксоформинга (рис. 6), уже коммерциализованные в зарубежном машиностроении, — это основанные на управлении фазовым превращением и текучестью новые технологии переработки металлов и металломатричных композитов, в которых внутренние структурные изменения также осуществляются на различных пространственно-временных шкалах внутри интервала температур фазового превращения.

Высокая текучесть суспензий позволяет получать детали сложной геометрической формы и снизить или совсем устранить необходимость их дальнейшей механической обработки, а также дает возможность управления структурообразованием материала детали на микронном масштабном уровне, что соответствует масштабам дисперсной фазы.

Таблица 2

Механические свойства сплава АЛ25 в фасонных заготовках, изготовленных различными литейными методами и тиксопрессованием [9]

№ п/п	Технология получения фасонной заготовки	Свойства			
		$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	НВ
1	Литье в кокиль (ГОСТ 1583-93)	186	—	—	90
2	Литье в кокиль	220	220	0,5	107
3	Жидкая штамповка (P = 150 МПа)	250	240	0,85	120
4	Жидкая штамповка, ГИП, Т6	310	290	1,2	121
5	Тиксопрессование, Т6	298 ± 9	277 ± 7	6,5 ± 0,4	150 ± 13

В совокупности два эти фактора позволяют изготавливать высококачественные детали сложной геометрической формы. Примером успешного применения технологии тиксоформинга в двигателестроении может служить одновременное повышение пластичности и твердости поршневых сплавов, при сохранении прочностных характеристик, что ведет к повышению качества поршней и повышенню надежности двигателей внутреннего сгорания. Сравнительная таблица характеристик сплава АЛ25 в фасонных заготовках, изготовленных различными литейными методами, приведена в табл. 2.

Заключение и выводы

Обеспечение высоких технико-экономических показателей перспективных двигателей внутреннего сгорания основано на оптимизации их конструкции и режимов работы, использовании передовых методов проектирования, применении новых материалов и технологий переработки в изделия. Так, активно развиваются технологии, обеспечивающие повышение качества материалов, что достигается благодаря возможности многомасштабного управления их структурой; технологии, реализующие восходящий процесс создания материала и детали, когда деталь и материал формируются одновременно. Примером такой технологии, объединяющей известные традиционные подходы литейного производства и обработки давлением, является технология тиксоформинга. Данная технология активно применяется в зарубежной автомобильной промышленности и позволяет получать фасонные металлические детали с высокими физико-механическими характеристиками. Области производства металлических изделий максимальной сложности занимают технология аддитивного производства (AM) и технология инжекционного литья порошковых композиций (PIM).

Гибкость технологических возможностей, которую обеспечивает MIM-технология, не только повышает экономическую эффективность производства, но и способствует повышению качества конечной продукции. MIM-технология широко применяется для изготовления сложнопрофильных деталей, накоплен богатый зарубежный опыт MIM-производства ответственных деталей. Создаются стандарты качества автомобильных MIM-деталей, например, стандарт ISO/TS 16949, что позволяет снизить расходы производителей и еще больше расширить область применения MIM-технологии. Всё это позволяет ожидать дальнейшего роста применения MIM-технологии для изготовления деталей автомобильного и иных секторов.

В России промышленное производство изделий тиксо- и MIM-методами практически отсутствует, сами методы не известны большинству специалистов и серьезно отстают в развитии от зарубежного уровня, а аддитивное производство изделий из конструкционных металлических материалов находится на уровне поисковых исследований. Всё это предопределяет не только высокий потенциал внедрения, но и риски освоения указанных технологий в отечественной промышленности без соответствующей подготовки специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Особенности системного подхода** к оценке точности изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания / Г. С. Гамидов, З. И. Адеев, К. А. Кучув // Обработка металлов резанием. — 2008. — Т. 2, № 44. — С. 16—18.
2. **Чайнов Н. Д., Мягков Л. Л., Москвичев Ю. П.** [и др.]. Новые конструкционные материалы — гранульные композиты и эффективность их применения в двигателестроении // Сборник научных трудов международной конференции "Двигатель-2010", посвященной 180-летию МГТУ им. Н. Э. Баумана / Под ред. Н. А. Иващенко, В. А. Вагнера, Л. В. Грехова. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. — 2010. — С. 67—70.
3. **Семенов Б. И., Семенов А. Б., Муранов А. Н.** Переработка и свойства суперсплавов, пригодных для MIM // Современные жаропрочные деформируемые никелевые и интерметаллидные сплавы, методы их обработки: сборник материалов конференции. — Москва, 13 ноября 2015 г. — М.: ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ, 2015. — С. 10.
4. **Hausnerova B.** Powder Injection Moulding — An Alternative Processing Method for Automotive Items // PIM International. — 2011. — No. 3. —P. 129—146.
5. **Ramakrishnan P.** Automotive aplications of powder metallurgy // Advances in powder metallurgy. — 2013. — No. 7. — P. 493—519.
6. **Williams N.** Metal Injection Moulding: Past successes and future opportunities in the automotive industry // PIM International. — 2015. — Vol. 9, No. 4. — P. 33—47.
7. **Металлопорошковые композиции** жаропрочного сплава ЭП648 производства ФГУП "ВИАМ" в технологиях селективного лазерного сплавления, лазерной газопорошковой наплавки и высокоточного литья полимеров, наполненных металлическими порошками / Е. Н. Каблов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2016. — Т. 9, № 678. — С. 62—80.
8. **Тиксоштамповка и тиксолитье** — современные технологии формообразования алюминиевых и других сплавов в твердожидком состоянии / Б. И. Семенов, Ю. А. Бочаров [и др.] // Технология легких сплавов. — 2010. — Т. 1. — С. 129—150.
9. **Тиксоформуемость и свойства** литейного поршневого сплава АЛ25 / Т. Б. Нго, А. Б. Семенов, Б. И. Семенов // Технология легких сплавов. — 2014. — Т. 2. — С. 78—87.

УДК 629.3

В. П. Тарасик, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь
E-mail: avtomobili@bru.by

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФРИКЦИОНАМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ

Приведена математическая модель мехатронной системы управления и результаты моделирования переходных характеристик системы в процессе управления фрикционами автоматической трансмиссии. Выполнено исследование влияния параметров системы управления на показатели качества переходных процессов. Приведены графики переходных характеристик и раскрыты их существенные особенности.

Ключевые слова: *мехатронная система управления, автоматическая трансмиссия, фрикцион, математическая модель, динамическая модель, переходная характеристика, показатели качества переходного процесса.*

A mathematical model of the mechatronic control system and results of modeling the transient characteristics of the system in the clutches control process of the automatic transmission are shown. A research is performed of the influence of the control system parameters on the transient processes quality. Graphs of transient characteristics are given and their essential features are revealed.

Keywords: *mechatronic control system, automatic transmission, clutch, mathematical model, dynamic model, transient characteristic, transient processes quality.*

Автоматические трансмиссии автомобилей наиболее часто создаются на основе гидромеханических либо преселекторных механических коробок передач, осуществляющих ступенчатое преобразование параметров потока энергии, передаваемой от двигателя к ведущим колесам (вращающего момента и угловой скорости), посредством автоматического переключения передач [1]. В качестве исполнительных механизмов системы переключения передач используются фрикционы. Для управления фрикционами применяют мехатронные автоматические системы [2].

На рис. 1 представлена функциональная схема мехатронной системы автоматического управления (МСАУ) фрикционами коробки передач. Система состоит из электрогидравлического пропорционального клапана (ЭГПК) и микропроцессорного контроллера управления автоматической трансмиссией. В состав системы входят следующие элементы: задающий элемент ЗЭ; преобразующий элемент ПЭ; широтно-импульсный модулятор ШИМ контроллера управления; пропорциональный электромагнит ПЭМ, содержащий обмотку ОЭМ, магнитопровод и якорь ЯЭМ; регулятор давления рабочей жидкости РД; регулятор-распределитель РР; гидроцилиндр ГЦ фрикциона Ф [3].

Контроллер определяет оптимальные условия и своевременность осуществления переключения передач и формирует характеристику управления фрикционом, реализуемую на выходе задающего элемента ЗЭ в виде характеристики изменения во времени тока управления $I_{упр}(t)$. Элемент ПЭ преобразует эту характеристику в дискретный сигнал, определяющий величину скважности $C(t)$ сигнала, формируемого ШИМ на его выходе. Скважность сигнала ШИМ определяет среднюю величину напряжения $U(t)$, подаваемого на обмотку электромагнита ОЭМ. В результате под действием создаваемого магнитного потока

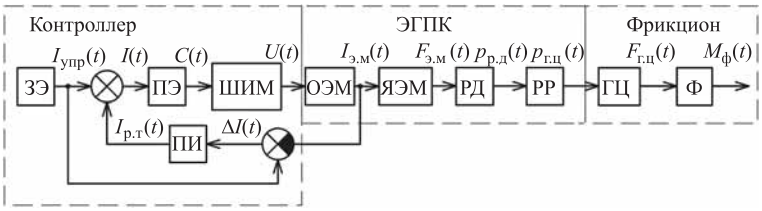


Рис. 1. Функциональная схема МСАУ

в магнитопроводе возникает сила воздействия на якорь ЭМ $F_{э.м}(t)$, пропорциональная силе тока в обмотке $I_{э.м}(t)$. Якорь ЭМ через шток непосредственно оказывает воздействие на запорно-регулирующий орган регулятора давления РД, вследствие чего на его выходе формируется сигнал давления рабочей жидкости $p_{р.д}(t)$, величина которого пропорциональна силе тока в обмотке ЭМ $I_{э.м}(t)$.

Назначение регулятора-распределителя заключается в усилении мощности потока рабочей жидкости, подаваемой в гидроцилиндр фрикциона ГЦ в процессе его включения. После заполнения гидроцилиндра характеристика давления рабочей жидкости в его полости $p_{г.ц}(t)$, поддерживаемая РР, несколько отличается от давления $p_{р.д}(t)$, но изменяется практически пропорционально силе тока в обмотке ЭМ $I_{э.м}(t)$. Для поддержания требуемой характеристики тока ЭМ $I_{э.м}(t)$ в контроллере предусмотрен регулятор, обеспечивающий пропорционально-интегральный закон управления величиной тока (ПИ-регулятор).

На выходе ПИ-регулятора формируется сигнал $I_{р.т}(t)$. Получаемый выходной сигнал ПИ-регулятора $I_{р.т}(t)$ складывается с сигналом управления $I_{упр}(t)$, и их сумма $I(t) = I_{упр}(t) + I_{р.т}(t)$ поступает на вход ПЭ. В результате происходит корректировка напряжения $U(t)$ на выходе ШИМ, что позволяет обеспечивать поддержание требуемой характеристики регулирования давления $p_{р.д}(t)$. Более подробно процесс функционирования МСАУ изложен в [2, 3].

Цель исследования

При проектировании механизмов МСАУ ставится задача достижения оптимальных показателей качества и эффективности функционирования системы управления фрикционами автоматической коробки передач. Для этого необходимо выявить влияние на эти показатели структуры и параметров всех основных механизмов системы управления. Решение этой проблемы возможно на основе математического моделирования.

Методика исследования

На рис. 2 приведена динамическая модель МСАУ, регулятор давления которой выполнен с запорно-регулирующим органом шарового типа, а регулятор-распределитель — золотникового типа с дифференциальным золотником. Такая структура МСАУ используется на многих мобильных машинах.

При разработке динамической модели учтены важнейшие физические свойства всех компонентов МСАУ — регулятора давления, регулятора-распределителя, системы питания исполнительного гидроцилиндра фрикциона, осуществляющего сжатие пакета фрикционных дисков усилием $F_{г.ц}(t)$ при его включении и регулировании в нем давления в процессе переключения передачи.

Для включения передачи на обмотку электромагнита 1 подается напряжение $U(t)$, характеристику которого формирует ШИМ контроллера по соответствующему алгоритму. На якоре электромагнита *2* возникает усилие $F_{э.м}(t)$, пропорцио-

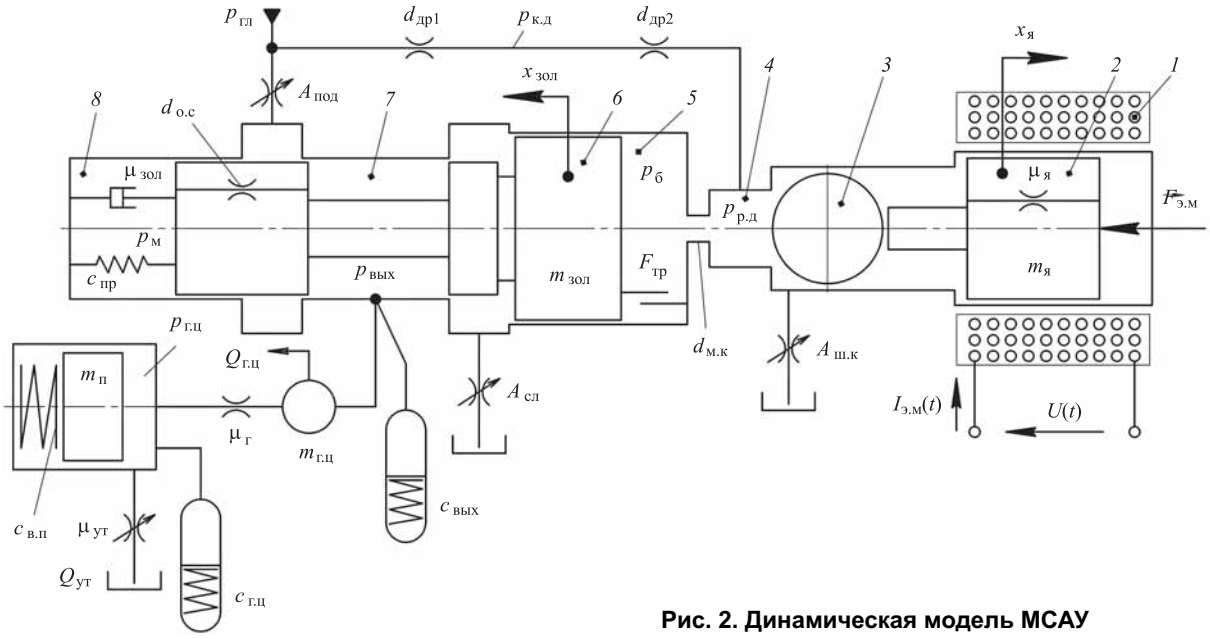


Рис. 2. Динамическая модель МСАУ

нальное току $I_{э.м}(t)$, передаваемое на шаровый запорно-регулирующий орган регулятора давления. Шарик *3* совместно с якорем *2* перемещается к своему седлу, уменьшая площадь отверстия слива $A_{ш.к}$ (площадь регулируемого дросселя). В результате в рабочей полости регулятора 4 устанавливается давление $p_{р.д}$, уравновешивающее усилие якоря: $F_{э.м} = p_{р.д}A_с$, где $A_с$ — площадь седла шарового затвора регулятора.

Расход рабочей жидкости на слив из регулятора давления зависит от диаметров дросселей $d_{др1}$ и $d_{др2}$, расположенных в канале подвода, и от их количества, но практически не зависит от размеров запорно-регулирующего органа (диаметров шара и его седла [4]). Во включенном состоянии управляемой передачи шарик *3* прижат усилием электромагнита к седлу, и расход на слив отсутствует.

Рабочая полость 4 регулятора давления межкамерным дросселем $d_{м.к}$ связана с полостью управления *5* регулятора-распределителя, представляющего собой трехлинейный золотниковый клапан с дифференциальным золотником *6* [2]. В золотнике выполнен дроссель обратной связи $d_{о.с}$; полость пружины *8* и межпоясковая полость *7*.

На основе предложенной динамической модели (рис. 2) разработана математическая модель процесса функционирования МСАУ. Она представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, составленных в нормальной форме Коши:

$$\left.\begin{aligned}
&dI_{э.м}/dt = (U - R_{э.м}I_{э.м})/L_{э.м};\\
&dv_я/dt = (A_с p_{р.д} - A_{э.м}I_{э.м} - B_{э.м}I_{э.м}x_я - \mu_я v_я)/m_я;\\
&dv_{зол}/dt = \begin{bmatrix} A_б(p_{р.д} - k_{м.к}v_{зол}^2) - A_м(p_{вых} + k_{о.с}v_{зол}^2) - \\ -F_{пр0} - c_{пр}x_{зол} - \mu_{зол}v_{зол} - F_{тр}\mathrm{sign}v_{зол} \end{bmatrix} \Big/ m_{зол};\\
&dQ_{г.ц}/dt = \left[p_{вых} - p_{г.ц} - (\mu_{г.л} + \mu_{г.н}|Q_{г.ц}|Q_{г.ц})\right]/m_{г.ц};\\
&dp_{г.ц}/dt = c_{г.ц}(Q_{г.ц} - Q_{ут});\\
&dp_{вых}/dt = c_{вых}(Q_щ + A_м v_{зол} - Q_{г.ц});\\
&dx_я/dt = v_я;\\
&dx_{зол}/dt = v_{зол}.
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

В уравнениях (1) приняты следующие обозначения параметров и переменных: $L_{э.м}$,, $R_{э.м}$ — индуктивность и активное сопротивление обмотки электромагнита, Гн; Ом; $v_я$, $v_{зол}$ — скорости перемещений якоря электромагнита и золотника, м/с; $m_я$, $m_{зол}$ — массы якоря и золотника, кг; $\mu_я$, $\mu_{зол}$ — коэффициенты демпфирования колебаний якоря и золотника, Н·с/м; $A_с$ — площадь седла шарового затвора регулятора давления, м^2; $A_{э.м}$, $B_{э.м}$ — коэффициенты характеристики пропорционального электромагнита, Н/А; Н/(м·А); $A_б$, $A_м$ — площади большого и малого поясков золотника, м^2; $k_{о.с}$, $k_{м.к}$ — коэффициенты гидравлических сопротивлений дросселя обратной связи и межкамерного дросселя, Н·с^2/м^4; $F_{пр0}$ — усилие пружины регулятора-распределителя в исходном положении золотника, Н; $c_{пр}$ — коэффициент жесткости пружины, Н/м; $F_{тр}$ — сила сухого трения золотника, Н; $m_{г.ц}$ — коэффициент гидравлической массы в магистрали подачи к гидроцилиндру, кг/м^4; $Q_{г.ц}$, $Q_{ут}$ — расход жидкости в магистрали подачи к гидроцилиндру и утечки из нее, м^3/с; $p_{вых}$, $p_{г.ц}$ — давления на выходе регулятора-распределителя и в гидроцилиндре, Па; $\mu_{г.л}$, $\mu_{г.н}$ — коэффициенты линейного и нелинейного гидравлических сопротивлений магистрали, Н·с^2/м^8; $c_{вых}$, $c_{г.ц}$ — коэффициенты гидравлических жесткостей упругих элементов на выходе регулятора-распределителя и в гидроцилиндре, Н/м^5; $Q_щ$ — расход через дросселирующие щели золотникового клапана, м^3/с.

Для вычисления $Q_щ$ предложены выражения:

$$Q_щ = \begin{cases} Q_{под} = \left[x_{зол} - (x_{зол0} + \Delta_п/2)\right]k_Q \\ \text{при } x_{зол} > (x_{зол}0 + \Delta_п/2); \\ Q_{сл} = \left[x_{зол} - (x_{зол0} - \Delta_п/2)\right]k_Q \\ \text{при } x_{зол} < (x_{зол}0 - \Delta_п/2); \\ Q_щ - 0 \text{ в иных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

где $Q_{под}$ — подача рабочей жидкости через напорную щель $A_{под}$ к регулятору-распределителю, м^3/с; $Q_{сл}$ — слив жидкости через сливную щель $A_{сл}$, м^3/с; $x_{зол0}$ — координата среднего положения золотника при перекрытых дросселирующих щелях, м; $\Delta_п$ — величина перекрытия дросселирующих щелей золотником, м.

При решении уравнений (1) необходимо располагать характеристикой давления $p_{р.д}$, формируемой регулятором давления в процессе управления фрикционом автоматической коробки передач в соответствии с заданным алгоритмом изменения тока в обмотке электромагнита $I_{эм}$. Вместе с тем давление $p_{р.д}$ связано с давлением питания гидросистемы $p_{гл}$, потерями давления на дросселях $d_{др1}$ и $d_{др2}$ и характеристикой изменения площади регулируемого дросселя $A_{ш.к}$, управляемого запорно-регулирующим органом 3 регулятора давления

(см. рис. 2). Давления $p_{р.д}$, $p_{гл}$ и $p_{к.д}$ связаны между собой системой уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &-\frac{A_{др2}^2}{A_{др1}^2}p_{р.д}+\left(1+\frac{A_{др2}^2}{A_{др1}^2}\right)p_{к.д}=p_{гл};\\ &\frac{A_{ш.к}^2}{A_{др1}^2}p_{р.д}+p_{к.д}=p_{гл}, \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

где $p_{гл}$ — давление в главной масляной магистрали, Па; $p_{р.д}$ — давление в рабочей полости регулятора, Па; $p_{к.д}$ — давление в канале между дросселями $d_{др1}$ и $d_{др2}$, Па; $A_{др1}$, $A_{др2}$ — площади дросселей $d_{др1}$. и $d_{др2}$, м^2; $A_{ш.к}$ — площадь регулируемого дросселя, образуемого шаровым клапаном, м^2.

Площадь регулируемого дросселя $A_{ш.к}$ зависит от перемещения шара совместно с якорем $h = x_я$ и определяется по формулам:

$$A_{ш.к}=\frac{\pi d_с}{2}\left(1-\frac{d_ш^2}{4D^2(h)}\right)D(h); \quad (4)$$

$$D(h)=\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_ш^2-d_с^2}{4}}+h\right)^2+\frac{d_с^2}{4}}, \quad (5)$$

где $d_с$ — диаметр седла шарового клапана, м; $d_ш$ — диаметр шара, м; $D(h)$ — функция перемещения шара, м; h — перемещение шара, м ($h = 0$ — при закрытом шаровом клапане; $h > 0$ — при открытом клапане).

Расход рабочей жидкости на слив через шаровый клапан вычисляется по формуле:

$$Q_{ш.к}=CA_{ш.к}\sqrt{\frac{2p_{р.д}}{\rho}}, \quad (6)$$

где $Q_{ш.к}$ — расход рабочей жидкости, м^3/с; ρ — плотность рабочей жидкости, кг/м^3; C — коэффициент расхода дросселя.

Давление $p_{р.д}$ пропорционально усилию электромагнита $F_{э.м}$ и обратно пропорционально площади седла шарового клапана $A_с$:

$$p_{р.д}=F_{э.м}/A_с\,. \quad (7)$$

Необходимое максимальное усилие электромагнита выбирается из условия:

$$F_{э.м.max}>A_с\,p_{гл.ном}\,, \quad (8)$$

где $p_{гл.ном}$ — номинальное давление в главной гидромагистрали системы управления.

На рис. 3 представлены характеристики регулятора давления, полученные при различных

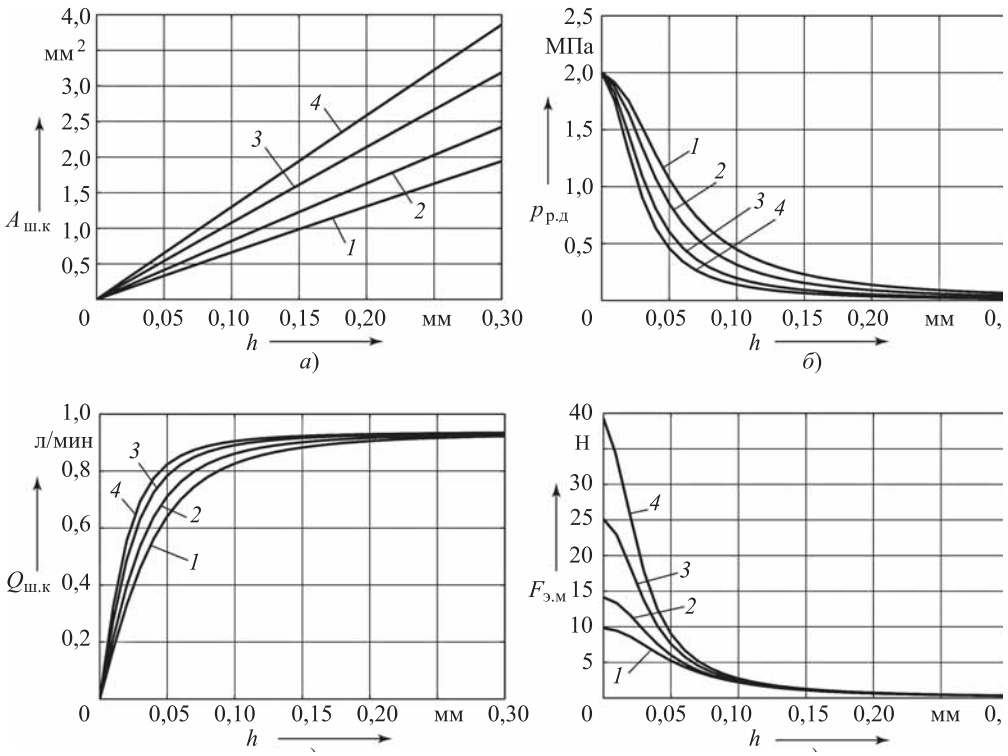


Рис. 3. Характеристики регулятора давления при различных размерах шарового затвора:

1 — $d_ш$ = 4,763 мм; $d_с$ = 2,5 мм; *2* — $d_ш$ = 6,350 мм; $d_с$ = 3 мм; *3* — $d_ш$ = 7,938 мм; $d_с$ = 4 мм; *4* — $d_ш$ = 9,0 мм; $d_с$ = 6 мм

значениях диаметров шарового затвора $d_ш$ и его седла $d_с$. При расчетах принято $p_{гл.ном} = 2$ МПа.

Чем меньше $d_ш$ и $d_с$, , тем более плавно изменяется давление $p_{р.д}$ (рис. 3, *б*) и меньше необходимое усилие электромагнита $F_{э.м}$ (рис. 3, *г*). Однако при этом увеличивается ход якоря, что осложняет возможность обеспечения требования пропорциональности между усилием электромагнита $F_{э.м}$ и током его управления $I_{э.м}$. Расход на слив $Q_{ш.к}$ слабо зависит от параметров $d_ш$ и $d_с$, а определяется величиной регулируемого давления $p_{р.д}$ (рис. 3, *б* и *в*).

При моделировании процесса функционирования МСАУ использовалась аппроксимация характеристики давления регулятора полиномом шестого порядка:

$$p_{рд} = \sum_{n=0}^{N} b_n x_я^n, \qquad (9)$$

где $p_{р.д}$ — давление регулятора, МПа; $x_я$ — координата якоря, отсчитываемая от положения шарика на его седле, мм; b_n — коэффициенты полинома.

Для регулятора давления с параметрами $d_ш = 7,938$ мм; $d_с = 4$ мм получены следующие значения коэффициенты полинома: $b_0 = 2,0347$; $b_1 = -18,840$; $b_2 = -884,31$; $b_3 = 2,1857 \cdot 10^4$; $b_4 = -1,9818 \cdot 10^5$; $b_5 = 8,1129 \cdot 10^5$; $b_6 = -1,2538 \cdot 10^6$. Дисперсия ошибки аппроксимации характеристики давления регулятора составила $\sigma = 4,5297 \cdot 10^{-4}$ МПа^2. В уравнениях (1), (3), (6) и (7) и в последующем давление $p_{р.д}$ в Па.

Разработанная математическая модель использована для исследования влияния параметров механизмов МСАУ на показатели качества переходных процессов. Критериями качества приняты время переходного процесса $t_п$ и перерегулирование σ. Эти параметры определялись для перемещения золотника $x_{зол}$ и давления на выходе из регулятора-распределителя $p_{вых}$. Переходные характеристики воспроизводились путем ступенчатого изменения управляющего сигнала — напряжения U на выходе ШИМ. При этом было принято начальное значение координаты якоря электромагнита $x_{я0} = 0,04$ мм, а конечное — $x_{як} = 0,03$ мм, а параметры шарового затвора регулятора давления $d_ш = 7,938$ мм, $d_с = 4$ мм. Для получения начальных условий интегрирования уравнений (1) решается система алгебраических уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &U - R_{эм} I_{эм} = 0; \\ &A_с p_{р.д0} - A_{эм} I_{эм} - B_{эм} I_{эм} x_{я0} = 0; \\ &A_б p_{р.д0} - A_м p_{вых} - F_{пр0} - c_{пр} x_{зол} = 0; \\ &p_{вых} - p_{г.ц} - (\mu_{г.л} + \mu_{г.н} Q_{ут}) Q_{ут} = 0; \\ &(x_{зол} - (x_{зол0} + \Delta_п / 2)) k_Q - Q_{ут} = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

где $p_{р.д0}$ — давление регулятора, соответствующее координате якоря $x_{я0}$.

Начальные значения фазовых координат: $U_0 = 4,1273$ В; $I_{э.м0} = 0,24278$ А; $x_{зол0} = 2,5706$ мм; $p_{г.ц0} = 8,3222 \cdot 10^5$ Па; $p_{вых0} = 8,3229 \cdot 10^5$ Па.

Конечные значения фазовых координат также вычислялись по уравнениям (10), но при $x_{я.к}$ и соответствующему ему значению $p_{р.д.к}$. В результате: $U_к = 5,5499$ В; $I_{э.м.к} = 0,32646$ А; $x_{зол.к} = 2,5706$ мм; $p_{г.ц.к} = 1,1683 \cdot 10^6$ Па; $p_{вых.к} = 1,1684 \cdot 10^6$ Па.

Начальные и конечные значения скоростей якоря электромагнита $v_{я0} = 0$ и золотника $v_{зол.0} = 0$, так как они соответствуют установившимся режимам системы.

Результаты исследования

На рис. 4, *а—д* показаны графики переходных характеристик основных фазовых переменных, наиболее ярко иллюстрирующих происходящие процессы в механизмах МСАУ при управлении фрикционами автоматической трансмиссии.

Показатели качества процесса управления $t_п$ и σ определяются по графикам переходных характеристик [5, 6]. Для этого на графиках проводят линии коридора стабилизации, при вхождении в который исследуемой характеристики переходный процесс считается законченным. Ширина коридора стабилизации *i*-й характеристики $\Delta_{кi}$ определяется выражением:

$$\Delta_{к\,i} = 0,05 \left| x_{i.к} - x_{i0} \right| = 0,05 \Delta x_i, \qquad (11)$$

где x_{i0}, $x_{i.к}$ — соответственно начальное и конечное установившиеся значения координаты x_i.

Время переходного процесса $t_{пi}$ определяется моментом последнего пересечения графиком линий коридора стабилизации и характеризует быстродействие системы управления. Перерегулирование определяется по формуле:

$$\sigma_i = 1 + \frac{A_{i\,max}}{\Delta x_i}, \qquad (12)$$

где $A_{i\,max}$ — максимальная амплитуда координаты x_i, измеряемая относительно $x_{i.к}$.

Если Δx_i значительно меньше $\left| x_{i.к} \right|$ или равно нулю, тогда вместо Δx_i в формулах (5) и (6) принимают $\left| x_{i.к} \right|$.

При ступенчатом скачкообразном изменении напряжения U на выходе ШИМ ток в обмотке электромагнита от начального значения $I_{э.м0}$ практически мгновенно возрастает по апериодической кривой до конечного значения $I_{э.м.к}$,

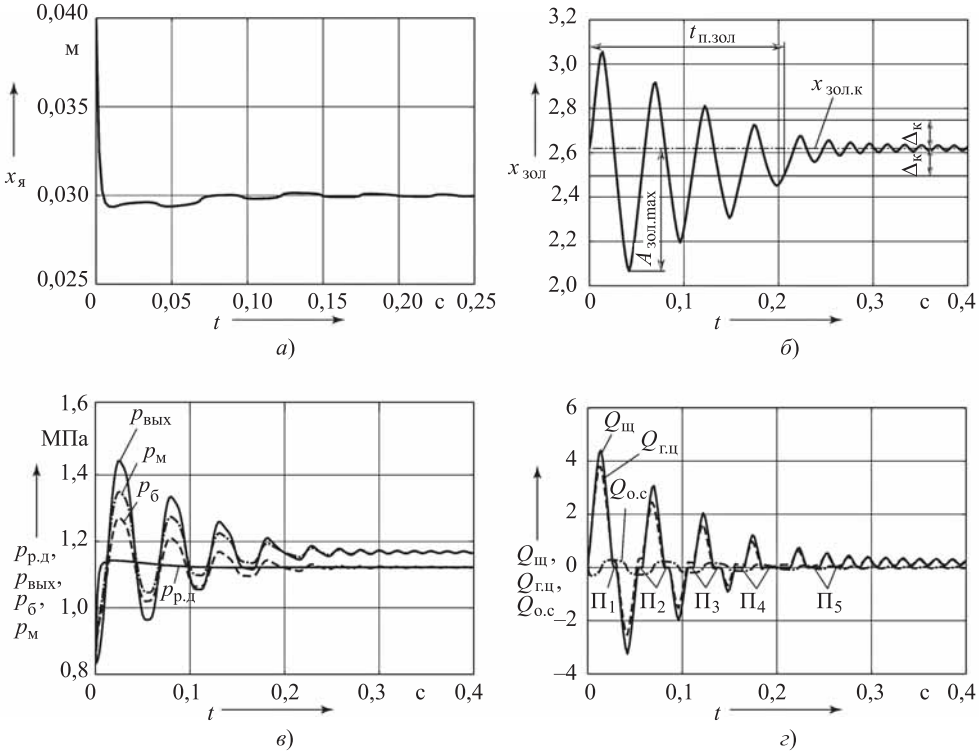


Рис. 4. Графики переходных характеристик МСАУ

что обусловлено очень малой индуктивностью $L_{э.м}$, характеризующей инерционность электромагнита. Соответственно изменению тока $I_{э.м}$ происходит перемещение якоря электромагнита $x_я$ (рис. 4, *а*). Перерегулирование координаты $x_я$ незначительное, и переходный процесс быстро затухает.

На рис. 4, *б* представлен график переходной характеристики перемещения золотника $x_{зол} = f(t)$. Эта характеристика носит колебательный характер. Коридор стабилизации $\Delta_к$ изображен тонкими сплошными линиями и отмечено время переходного процесса $t_{п.зол}$. Очевидны значительные амплитуды колебаний координаты золотника $x_{зол}$. Однако переходный процесс довольно быстро затухает.

На рис. 4, *в* изображены графики давлений регулятора $p_{р.д}$, на выходе регулятора-распределителя $p_{вых}$, в полости управления выходным давлением $p_б$ (полость большого пояска золотника) и в полости пружины золотника $p_м$. Давление $p_{р.д}$ очень быстро и плавно устанавливается с минимальным перерегулированием, что характеризует высокое качество работы регулятора с шаровым запорно-регулирующим органом. Золотник же регулятора-распределителя совершает колебания, в результате и регулируемое им давление $p_{вых}$ носит колебательный характер. При этом время переходного процесса $t_{п.вых}$ и перерегулирование $\sigma_{вых}$ оказываются больше, чем соответствующие им показатели золотника $t_{п.зол}$ и $\sigma_{зол}$.

Очень важной характеристикой МСАУ является расход рабочей жидкости $Q_щ$ через дросселирующие щели золотникового клапана. На рис. 4, *г* показаны графики изменения $Q_щ$ во времени. Положительные значения $Q_щ$ соответствуют подаче $Q_{под}$ через напорную щель $A_{под}$ в полость *7* (рис. 2) регулятора-распределителя, а отрицательные — расходу на слив $Q_{сл}$ через сливную щель $A_{сл}$. При этом устанавливается баланс расходов $Q_щ + Q_{г.ц} + Q_{о.с} = 0$, где $Q_{г.ц}$ — подача в гидроцилиндр (штриховая линия); $Q_{о.с}$ — величина циркуляции жидкости (перетекания) через дроссель обратной связи $d_{о.с}$ из полости пружины *8* (рис. 2) в межпоясковую полость золотника *7* и обратно (штрихпунктирная линия). При перекрытии золотником обеих дросселирующих щелей $A_{под}$ и $A_{сл}$ проход жидкости через них прекращается, тогда $Q_щ = Q_{под} = Q_{сл} = 0$. Этому положению соответствуют участки графика $Q_щ$, отмеченные буквами $П_1 \ldots П_5$. Отрицательные значения $Q_{о.с}$ относятся к выдавливанию жидкости из полости пружины *8* в полость *7*, а положительные — обратному перетеканию.

В состав $Q_{г.ц}$ входит расход утечек $Q_{ут}$. После завершения переходного процесса при $t \geqslant t_п$ среднее значение $Q_{г.ц}$ соответствует компенсации утечек $Q_{ут}$.

Расход на слив $Q_{сл}$ зависит от перекрытия дросселирующих щелей $\Delta_п$. На рис. 5, *а* представлены графики изменения во времени объемов подачи $W_{под}$ и слива $W_{сл}$ при двух значениях $\Delta_п$. Сплошными линиями изображены графики, соответствующие положительному перекрытию $\Delta_п = 0,2$ мм, а штриховыми — отрицательному $\Delta_п = -0,2$ мм. При отрицательном перекрытии слив продолжается в течение всего времени процесса регулирования давления в гидроцилиндре фрикциона при включении передачи. При положительном же перекрытии слив происходит лишь во время переходного процесса $t_{п.зол}$. На рис. 5, *б* приведены зависимости $W_{под}$ и $W_{сл}$ от величины перекрытия $\Delta_п$.

Характерная особенность приведенных на рис. 4, *а—г* графиков — переменная частота колебаний переходных характеристик. В начальный период при больших амплитудах частота колебаний существенно ниже, чем после завершения переходного процесса. Как известно, в линейных системах при ступенчатом воздействии свободный затухающий переходный процесс происходит с постоянной частотой, соответствующей низшей резонансной частоте.

Для выяснения причины переменности частоты колебаний нелинейные функции системы дифференциальных уравнений (7) подвергнуты линеаризации, определен спектр матрицы Якоби, на основе которого установлено, что МСАУ имеет три резонансных частоты: 29,3; 445,6; 526,1 Гц. Определены также парциальные частоты колебаний золотника $\omega_{п.зол}$ и сосредоточенной массы жидкости $m_{г.ц}$ в магистрали подачи к гидроцилиндру $\omega_{п.г.ц}$. Получены следующие значения $\omega_{п.зол} = 55,9$ Гц; $\omega_{п.г.ц} = 522,3$ Гц. Согласно же графику на рис. 4, *б* начальная частота колебаний золотника составляет примерно 12 Гц, а конечная — 60 Гц. Такие особенности моделируемой нелинейной системы обусловлены влиянием дросселей обратной связи $d_{о.с}$ и межкамерного $d_{м.к}$. В начальной стадии переходного процесса вследствие больших амплитуд перемещений и скоростей золотника время перетекания рабочей жидкости между полостями *7* и *8* через дроссель $d_{о.с}$ и между полостями *5* и *4* через дроссель $d_{м.к}$ (рис. 2) существенно возрастает, что и приводит к снижению частоты колебаний. После завершения переходного процесса амплитуды колебаний незначительные, поэтому сопротивления дросселей практически не влияют на частоту.

С увеличением диаметров дросселей $d_{о.с}$ и $d_{м.к}$ частота колебаний в начальном периоде переходного процесса возрастает и начинает приближаться к парциальной частоте колебаний золотника $\omega_{п.зол}$. На рис. 6, *а*, *б* приведены графики, полученные при увеличении диаметров дросселей $d_{о.с}$ и $d_{м.к}$ в 2 раза (с 0,8 до 1,6 мм). Частота колебаний в начальный период повысилась до 40 Гц. Однако при этом увеличиваются амплитуды установившихся колебаний давления $p_{вых}$ в 4 раза (рис. 6, *а*), а подачи $Q_щ$ — в 3,14 раза и ее максимальной амплитуды в 1,83 раза (рис. 6, *б*), что существенно ухудшает качество процесса ре-

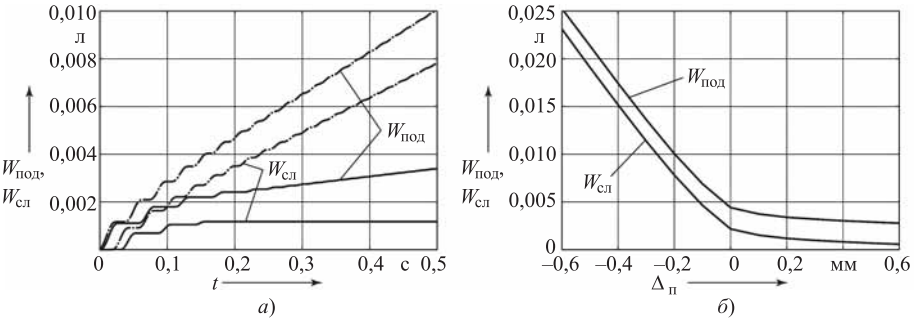


Рис. 5. Зависимости объемов подачи и слива от времени (*а*) и от величины перекрытия дросселирующих щелей золотникового клапана регулятора-распределителя МСАУ (*б*)

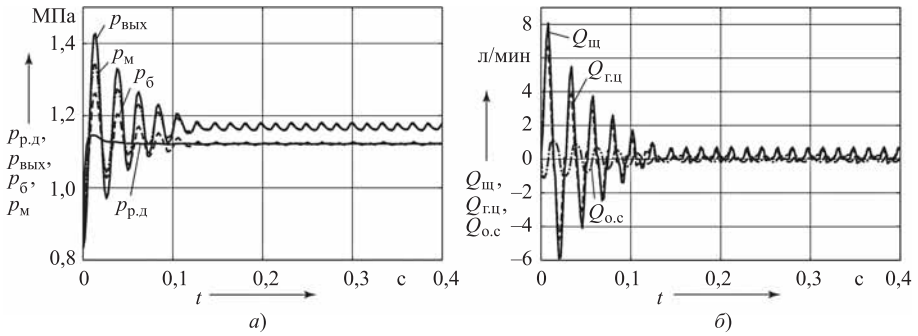


Рис. 6. Графики переходных характеристик МСАУ при увеличении диаметров дросселей в 2 раза

гулирования управляемого давления $p_{вых}$. При этом золотник в установившемся режиме продолжает циклически перекрывать дросселирующие щели $A_{под}$ и $A_{сл}$.

На основе предложенной математической модели МСАУ проведены исследования влияния ее параметров на показатели качества переходных процессов. Установлено, что наибольшее влияние оказывают следующие параметры:

величина перекрытия дросселирующих щелей золотника $\Delta_п$;

соотношение между диаметрами большого и малого поясков золотника $d_б/d_м$;

диаметры дросселей $d_{о.с}$ и $d_{м.к}$ (рис. 2).

Влияние перекрытия $\Delta_п$ отображено графиками на рис. 7, *а*, *б*. Для переходной характеристики давления $p_{вых}$ показатели $t_{п.вых}$ и $\sigma_{вых}$ при отрицательном перекрытии существенно ухудшаются, а для перемещения золотника, наоборот, улучшаются. Реально используемый на практике диапазон значений $\Delta_п = -0,2 \ldots +0,2$ мм. Поскольку выходной характеристикой МСАУ является $p_{вых}$, то, согласно полученным результатам, целесообразно принять $\Delta_п = 0 \ldots 0,2$ мм.

Увеличение соотношения диаметров поясков золотника $d_б/d_м$, как следует из рис. 8, *а*, *б*, приводит к ухудшению показателей качества. Наилучшие результаты получаются при равенстве $d_б = d_м$. Однако при этом после завершения процесса включения передачи золотник продолжает дросселировать напорную щель $A_{под}$, что может приводить к снижению давления в гидроцилиндре при наличии утечек в магистрали питания. Поэтому в существующих конструкциях МСАУ применяют дифференциальный золотник при соотношении $d_б/d_м \approx 1,08$.

Влияние диаметров дросселей $d_{о.с}$ и $d_{м.к}$ на $t_п$ и σ показано на рис. 9, *а*, *б*. При диаметрах менее 0,8 мм время переходного процесса очень резко возрастает. Увеличение диаметров приводит к возрастанию перерегулирования перемещения золотника $\sigma_{зол}$ и незначительно снижает перерегулирование давления $\sigma_{вых}$.

Диаметры дросселей определяют эффективность демпфирования колебаний золотника. Чем меньше значения $d_{о.с}$ и $d_{м.к}$, тем выше потери давления при перетекании рабочей жидкости через дроссели, а следовательно, и сила сопротивления перемещению золотника, что приво-

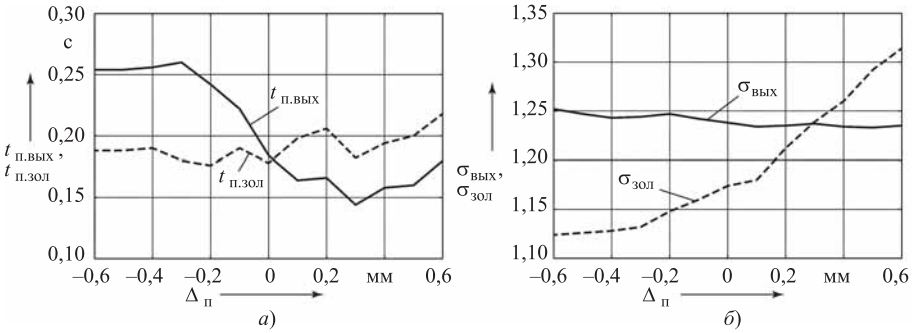


Рис. 7. Влияние величины перекрытия дросселирующих щелей на показатели качества переходных процессов МСАУ

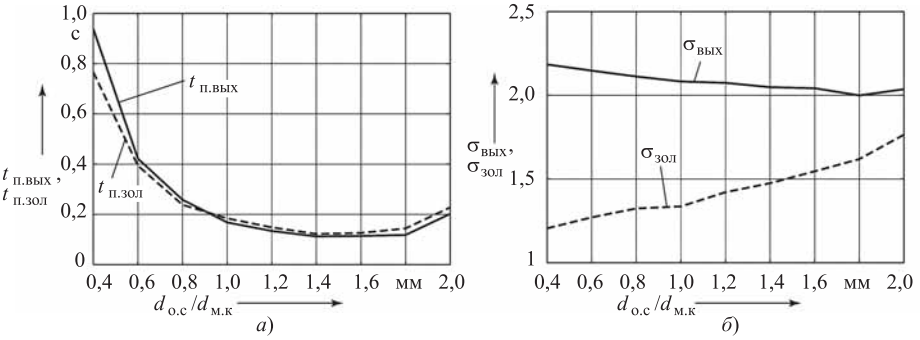


Рис. 8. Влияние соотношения диаметров поясков золотника на показатели качества переходных процессов

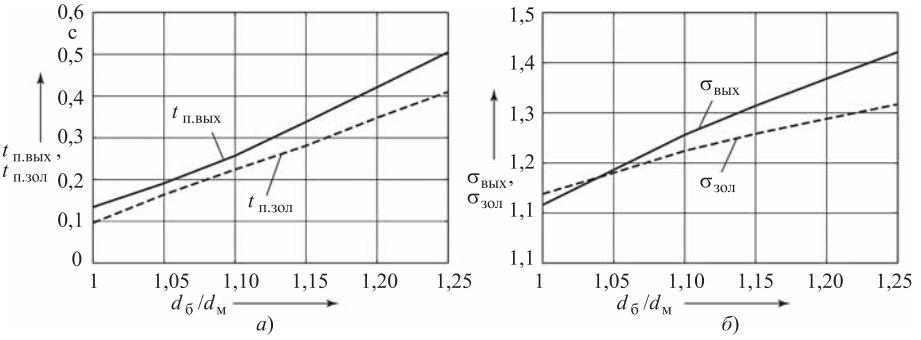


Рис. 9. Влияние диаметров дросселей на показатели качества переходных процессов

дит к снижению амплитуд колебаний и уменьшению величины $\sigma_{зол}$. Наиболее часто используют в МСАУ дроссели с диаметрами в пределах 0,8—1,0 мм.

Выводы

1. Предложенная математическая модель мехатронной системы управления позволяет адекватно отобразить важнейшие физические свойства всех ее компонентов: регулятора давления, регулятора-распределителя, управляемого исполнительного гидроцилиндра фрикциона, формирующих характеристики переключения передачи в трансмиссии автомобиля. На ее основе проведены исследования влияния параметров МСАУ на показатели качества переходных характеристик и на расходы рабочей жидкости регулятора давления и регулятора-распределителя в процессе осуществления управления.

2. Предлагаемую математическую модель можно использовать при проектировании мехатронных систем управления различными механизмами мобильных машин. Она позволяет определить рациональные параметры проектируемой системы, обеспечивающие получение высоких показателей качества процессов ее функционирования.

3. Полученные результаты исследований позволяют выполнить сравнительный анализ эффективности существующих систем управления и использовать приведенные рекомендации по их совершенствованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Красневский Л. Г., Поддубко С. Н.** О создании современных автоматизированных приводов для отечественной мобильной техники. Часть 1 // Механика машин, механизмов и материалов. Минск, ОИМ. — 2016. — № 3 (36). — С. 21—31.
2. **Тарасик В. П., Романович Ю. С., Савицкий В. С.** Электрогидравлический механизм управления фрикционами гидромеханической передачи // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2012. — № 2 (35). — С. 89—100.
3. **Тарасик В. П., Савицкий В. С.** Экспериментальные исследования электрогидравлического пропорционального клапана мехатронной системы управления автоматической коробки передач // Тракторы и сельхозмашины. — 2016. — № 9. — С. 10—18.
4. **Тарасик В. П., Горбатенко Н. Н., Савицкий В. С.** Исследование характеристик электрогидравлических пропорциональных клапанов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2014. — № 1 (42). — С. 52—65.
5. **Ксеневич И. П., Тарасик В. П.** Теория и проектирование автоматических систем. — М.: Машиностроение, 1996. — 479 с.
6. **Тарасик В. П.** Математическое моделирование технических систем. — Минск: Новое знание, 2016. — 592 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2017 год

Подписавшись в издательстве, вы:
1) получаете без задержек журнал с первого номера;
2) экономите на стоимости почтовой доставки;
3) получаете скидку до 5 %.

Наши реквизиты:
e-mail: realiz@mashin.ru
тел.: 8 (495) 785-60-69.
Отдел продаж, маркетинга, рекламы
WWW.MASHIN.RU

УДК 629.113.004.67
Е. В. Янчевская, ассистент, МАДИ
E-mail: ev.jana88@rambler.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА ШИН НОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Автомобильный рынок постоянно пополняется шинами новых моделей. Сведения об их ресурсе отсутствуют. Для контроля за использованием шин на автомобиле требуются нормы пробега. В статье предложена методика прогнозирования ресурса на основе статистических данных начальных этапов эксплуатации шин новых моделей.

Ключевые слова: *автомобильные шины, ресурс шин, нормы пробега шин, прогноз ресурса шин.*

The vehicle market is constantly updated with new tire models. Information about the service life do not exist. Mileage standards are needed to monitor the tire usage on the vehicle. In the article the method of tire service life forecasting is proposed based on statistical data of the initial stages of new tire models operation.

Keywords: *tires, tire service life, tire mileage standards, tire service life prediction.*

Уровень реализация ресурса шин в эксплуатации является ключевым параметром оценки деятельности технической службы автотранспортного предприятия. Как правило, это проводится с помощью норм эксплуатационного пробега шин. Единых норм нет, и создание их нереально. Ресурс шин является основным техническим критерием оценки шины как продукта. Заводы-изготовители информацию о ресурсных показателях своих шин не предоставляют. Это конкурентноуязвимые сведения. Появляющиеся иногда в технической литературе данные о пробегах (ресурсах) каких-либо шин носят ограниченный, локальный характер.

Реализованный на АТП ресурс шин является исходной базой для установления норм расхода шин с учетом мероприятий, направленных на увеличение ресурса в дальнейшем и, следовательно, на сокращение затрат на шины. Кроме того, наличие норм облегчает взаимодействия с налоговыми службами при контроле правильности списания финансовых средств.

АТП имеют право периодически разрабатывать для себя внутренние временные нормы на основании результатов эксплуатации шин за прошедшие периоды. По моделям шин, давно используемым на АТП, это можно сделать анализом статистических данных. Но рынок шин регулярно предлагает шины новых конструкций, новых моделей. Иногда даже появляются производители, которые себя еще никак не зарекомендовали, поэтому устанавливают демпинговые цены.

Техническая служба АТП должна владеть приемами быстрого прогнозирования ресурса шин новых моделей с последующим уточнением получаемых данных по мере накопления статистической базы. Решение данной задачи основывается на выявлении основной ресурсной характеристики шины — зависимости износа рисунка протектора по пробегу $t_{ост} = f(L)$, являющейся постепенным, с хорошей достоверностью прогнозируемым отказом.

Исследования по выявлению характера износа протектора по пробегу проводило много различных научных организаций и исследователей и в разные временные периоды. Общий вывод, который можно сделать по этим исследованиям, таков, что темп износа протектора происходит нелинейно. Чем меньше глубина рисунка, тем темп износа меньше из-за снижения потерь трения в элементах протектора при их деформации.

Проведенный в МАДИ анализ характеристик $t_{ост} = f(L)$ шин автобусов и грузовых автомобилей (в том числе характеристик и сторонних исследователей) позволил подобрать математическую зависимость (рис. 1), которая хорошо согласуется с характером износа протектора и при этом несложная по описанию. Это степенная зависимость вида:

$$t_{ост} = t_н - kL^n, \text{ мм}, \quad (1)$$

где $t_{ост}$ — остаточная глубина протектора;

L — текущее значение параметра (пробега);

$t_н$ — постоянный член уравнения (первоначальная глубина рисунка протектора);

k — масштабный коэффициент уравнения;

n — показатель степенной зависимости.

Рис. 1. Зависимость износа рисунка протектора по пробегу ($L_п$ — прогнозируемый ресурс шины при достижении предельно допустимой остаточной глубины рисунка протектора)

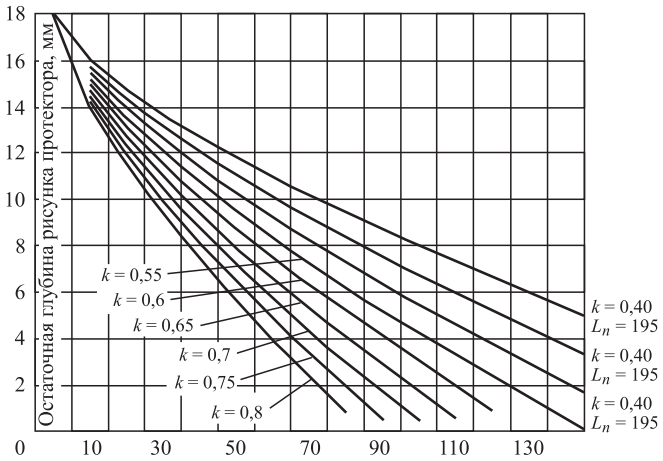


Рис. 2. Номограмма подбора масштабного коэффициента k и определения прогнозируемого ресурса $L_п$ (при достижении $t_{ост}$ значений предельно допустимой глубины рисунка протектора)

При полном объеме статистических данных, т. е. при длительной эксплуатации шин (ломаная линия на рис. 1), показатели k и n определяются стандартными приемами аппроксимации, например, на основе метода наименьших квадратов. При ограниченном объеме выборки согласно теории надежности следует применить метод усеченных испытаний. Но он связан со сложными математическими выкладками, использование которых у персонала автопредприятий вызовет затруднения.

Анализ множества зависимостей $t_{ост} = f(L)$ по разным шинам автобусов и грузовых автомобилей показал, что с вероятностью 90 % численную величину показателя степени n можно принять равной 0,7. При таком допущении для шин, по которым статистический материал находится в стадии накопления, достаточно только определить масштабный коэффициент k.

Используя множество значений k, можно построить совокупность теоретических кривых. Для наиболее массовых моделей шин с $t_н = 18$ мм такая совокупность представлена на рис. 2.

За 9–12 месяцев эксплуатации шины на коммерческом и пассажирском транспорте, как пра-

Определение средней остаточной глубины протектора по интервалам пробега (фрагмент)

Измерения по шинам		Интервалы пробела (ΔL = 10 тыс. км)						
		0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
$t_{ост}$, мм	1	18,0	16,5	~~16,0~~	10,5	14,0	~~14,5~~	
	2	17,0	~~17,5~~	15,0	12,5	~~7,0~~	14,0	
	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	17,5	15,0	14,5	~~14,0~~	11,0	12,0	
	16	17,0	15,5	15,0	9,50	6,5	~~9,5~~	
	17	~~10,5~~	14,5	14,0	~~8,5~~	13,5		
	18	16,0	~~8,5~~	~~9,0~~		~~17,0~~		
	19	16,0						
	20	~~18,0~~						
$t_{ср}$, мм фактич.		16,3	15,6	14,3	11,0	10,3	11,4	
$t_{ср}$, мм теоретич.		17,0	15,2	13,5	12,2	11,0	10,0	

вило, достигают 50—60 тыс. км пробега. Это уже позволяет собрать исходные статистические данные. Для этого следует измерить глубину рисунка протектора $t_{ост}$ каждой шины и по "Карточке учета" ее работы определить пробег L на момент осмотра. Измерения удобно проводить при нахождении автомобилей в зоне ТО-2; сведения вносить в табличную форму.

Составление такой таблицы для большего понимания показано на реальном примере.

Результаты измерений $t_{ост}$ с учетом L осматриваемой шины распределяем по интервалам пробега. В каждом интервале (ΔL = 10 тыс. км) накапливается некоторое количество шин со значениями $t_{ост}$.

После сбора данных по всем шинам, для повышения достоверности результатов в каждом интервале вычеркиваем по одному показателю шин с самым большим и с самым маленьким значением $t_{ост}$. Этим снижается вероятность попадания случайных ошибок вследствие производственных неточностей в системе учета пробегов шин на АТП. По оставшимся значениям рассчитываем $t_{ср}$ (мм) и строим экспериментальную зависимость (ломаная линия на рис. 3).

Вручную экстраполируем экспериментальные данные плавной кривой (сплошная линия на рис. 3). При проведении этой кривой надо стремиться, чтобы сумма всех ординат от экспериментальных точек до полученной плавной кривой снизу (сплошная стрелка) была примерно равна сумме ординат точек до кривой сверху (пунктирная стрелка). Это условие метода наименьших квадратов при аппроксимации. Поинтервальные точки плавной кривой (для наглядности перенесены в последнюю строку таблицы) наложить на координатную сетку номограммы на рис. 2 и

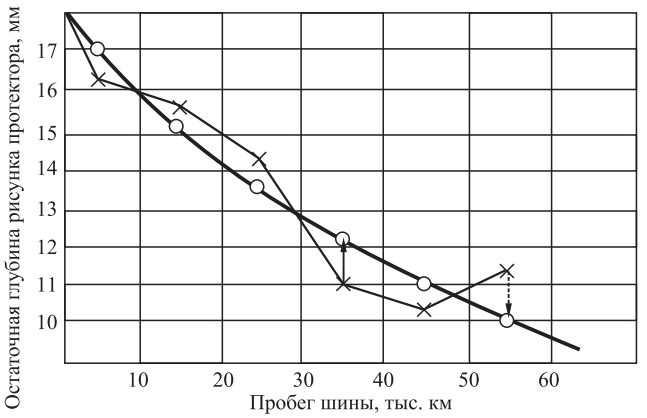


Рис. 3. Сведения об износе протектора по пробегу

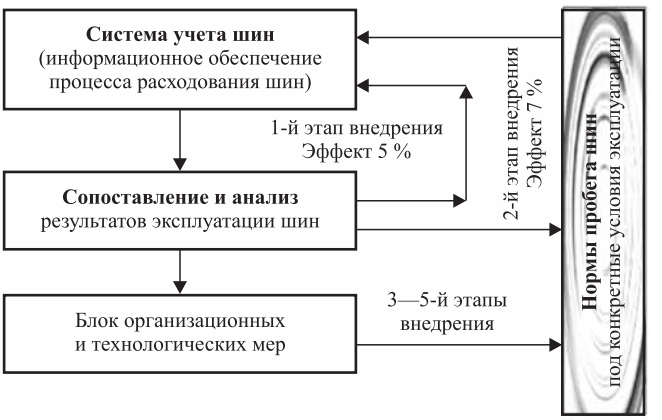


Рис. 4. Комплекс мероприятий по управлению ресурсом шин в эксплуатации (методология МАДИ)

определить, с какой из теоретических кривых будет максимальное совмещение.

В результате такого графоаналитического анализа выявляется значение коэффициента k и соответствующая ему зависимость $t_{ост} = t_н - kL^{0,7}$. По точке ее пересечения с линией абсциссы со значением предельно допустимой глубины рисунка протектора (например, 2 мм) определяется потенциальный ресурс шины $L_п$.

Таким образом, с использованием приведенной выше методики можно оперативно спрогнозировать ресурс шин, впервые поступивших в эксплуатацию.

По мере увеличения шинами наработок L (еще примерно через полгода) измерения $t_{ост}$ следует повторить как по прежним шинам, так и новым, если они появились в эксплуатации. Этим дополняются интервалы в таблице и делается новый расчет последних двух строчек. Точность прогноза $L_п$ повысится.

Когда некоторое количество шин достигнет предельного износа и они будут сняты с эксплуатации, можно будет получить итоговую достоверную ресурсную характеристику шин (как на рис. 1) в условия реального предприятия.

Данный подход является составным элементом комплексной методики МАДИ (рис. 4) по управлению ресурсом шин в эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кнороз В. И.** Работа автомобильной шины. — М.: Транспорт, 1976.
2. **Yanchevskaya E.** Mathematical model of tire life calculation in real conditions. Сборник трудов. 1st Polish-Russian Symposium on Science and Education, Copyright by AGNI, Pruszcz Gdanski, Poland, 2015.

УДК 656.1:62-192 + 004.942

А. Н. Якубович, д-р техн. наук, **И. А. Якубович,** д-р техн. наук, МАДИ
E-mail: 54081@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА

При определении взаимно согласованных значений параметров, характеризующих работоспособность системы, и для последующей оценки работоспособности системы необходимы трудоемкие итеративные вычисления. Для сокращения вычислительного времени авторами предлагается использовать метод поверхностей отклика, в соответствии с которым запас работоспособности представляется в виде полинома, являющегося функцией от значений параметров первой группы (обобщенные нагрузки и прочности системы).

Ключевые слова: *оценка работоспособности системы, запас работоспособности, метод поверхностного отклика, математическая модель, аппроксимирующий полином.*

When determining the mutually agreed values of the parameters that characterize the system's operability, and for the subsequent evaluation of the system's operability, it requires laborious iterative calculations. To reduce computational time, authors suggest using the response surface method, in accordance with which the availability margin is represented as a polynomial, which is a function of the values of the parameters of the first group (generalized loads and strengths of the system).

Keywords: *evaluation of the system's working capacity, availability margin, surface response method, mathematical model, approximating polynomial.*

Использование методов статистического моделирования для определения вероятности безотказной работы технических систем и их отдельных элементов предполагает, в общем случае [1, 2], выполнение следующих основных этапов.

1. Построение целостной математической модели системы, позволяющей однозначно определять количественную связь между параметрами системы. При рассмотрении наиболее распространенных автотранспортных объектов (автотранспортные средства, механизмы для их технического обслуживания и т. д.) основой для данной модели являются нормы, используемые при проектировании и конструировании соответствующих объектов, технические регламенты, нормативно утвержденные правила эксплуатации.

2. Выявление и фиксирование двух групп параметров, присутствующих в модели [3]. К первой группе относятся параметры, однозначно соотносимые с работоспособными состояниями системы или ее отдельного элемента (критерии работоспособности). В простейших и наиболее очевидных случаях к таким параметрам относятся фактические напряжения в материалах, из которых сконструирован объект. Превышение фактическими напряжениями своих нормативных значений (прочностей материалов) в процессе эксплуатации объекта явно свидетельствует о наступлении неработоспособного состояния. Вторую группу составляют параметры, отражающие внешние воздействия на объект (обобщенная нагрузка); при наличии корректной математической модели объекта на их основе возможно количественное определение параметров первой группы. Также ко второй группе относятся нормативные значения параметров первой группы (обобщенные прочности). В результате математическая модель может быть представлена в форме: входные параметры (вторая группа) — система формализованных соотношений параметров — выходные параметры (первая группа).

3. Обоснование и формализованное описание параметров второй группы (входных). Для обобщенных прочностей описание сводится к установлению фиксированных границ, за которые не могут выходить значения выходных параметров на стадии нормальной эксплуатации системы (т. е. пребывания системы в работоспособном состоянии) [4]. Внешние воздействия на систему являются, по своей природе, случайными процессами,

и их формализованное описание производится соответствующими способами теории вероятностей. Обычно без существенного снижения точности изменчивостью внешнего воздействия во времени можно пренебречь и считать его случайной величиной $\tilde{x}_i$, для формального описания которой достаточно определить закон ее распределения (вид и количественные значения параметров функции, являющейся плотностью вероятностей данной величины). Для определения закона и параметров распределения, описывающих конкретное внешнее воздействие, используются статистические данные; частым случаем является использование нормального закона распределения, для которого требуется определить только два параметра — среднее значение и дисперсию. В случае, когда статистические данные свидетельствуют о непригодности нормального распределения [5], рекомендуется использовать их аппроксимацию кривыми Пирсона, в результате которой можно выявить закон и параметры распределения, в наибольшей степени соответствующие эмпирическим данным.

4. Моделирование каждого внешнего воздействия множеством реализаций соответствующей случайной величины. Для этой цели может быть использован как метод Монте-Карло, при котором для получения каждой реализации используется псевдослучайный алгоритм [6], так и метод разбиения плотности вероятности на участки равной площади [7]. Во втором случае площадь каждого такого участка равна N^{-1} (N — общее количество реализаций), а соответствующая участку q реализация $x_{i,q}$ обычно находится в его центральной точке. В результате будут получены N сочетаний реализаций внешних воздействий; каждое такое сочетание представляет собой набор значений $x_1, x_2 \ldots x_m$ — по одному для всех m внешних воздействий. Критерием точности моделирования на данном этапе является достаточно близкое совпадение вида и значений параметров для законов распределения, один из которых был использован для получения реализаций случайной величины, а второй был определен (восстановлен) по этим реализациям.

5. Определение N сочетаний параметров первой группы, каждое из которых вычисляется на основе используемой математической модели системы при соответствующих значениях внешних воздействий $x_1, x_2 \ldots x_m$. Данный этап моделирования является в вычислительном смысле наиболее трудоемким. Во всех сочетаниях выходных параметров их значения нормируются соответствующими величинами обобщенных прочностей, после чего получаем N сочетаний значений для критериев работоспособности системы $w_1, w_2 \ldots w_n$. Таким образом, значения $w_i < 1$ свидетельствуют о переходе системы в неработоспособное состояние по i-му критерию; наличие в сочетании хотя бы одного такого значения означает, что при внешних воздействиях на систему, описываемых соответствующими уровнями $x_1, x_2 \ldots x_m$, эта система становится неработоспособной. Нормальное функционирование системы возможно только когда для всех критериев выполняется требование $w_i \geqslant 1$, а общий запас ее работоспособности для q-го сочетания характеризуется величиной:

$$W_q = \min\left(w_1, w_2 \ldots w_n\right)_q . \qquad (1)$$

6. Определение закона и параметров распределения случайной величины $\tilde{W}$ на основе N ее реализаций, полученных на предыдущем этапе. Поскольку закон распределения $\tilde{W}$, как правило, достаточно далек от нормального, наиболее целесообразным представляется использование в качестве закона распределения кривых Пирсона. Завершающим шагом является определение вероятности $p\left(\tilde{W} < 1\right)$, в которой значение случайной величины $\tilde{W}$ будет менее 1; она является количественной оценкой надежности моделируемой системы — вероятностью потери работоспособности (по любому из использованных критериев) за рассматриваемый период эксплуатации.

Одной из существенных вычислительных трудностей зачастую является то, что параметры первой группы (характеризуют работоспособность системы) не могут быть выражены в явной форме через группу параметров, отражающих внешние воздействия на рассматриваемую систему. В результате для определения взаимно согласованных значений параметров, соответствующих используемой математической модели, и для последующей оценки работоспособности системы могут потребоваться объемные итеративные вычисления. Особенно заметно итеративный характер расчета проявляется для нелинейных и частично-дискретных моделей, достаточно широко распространенных при описании реальных технических систем. Поскольку метод статистического моделирования подразумевает расчеты для значительного количества точек, общие затраты времени на получение численного значения вероятности отказа, даже для достаточно простых систем, могут вырасти до неприемлемо больших значений.

Для сокращения вычислительного времени может быть использован метод поверхностей отклика [8, 9],

в соответствии с которым запас работоспособности W представляется в виде полинома, являющегося функцией от значений параметров первой группы (обобщенные нагрузки и прочности системы). В общем случае вид этой функциональной зависимости, аппроксимирующей работоспособность системы, как и количество ее параметров, могут быть любыми. Если исходить из требования симметрии функциональной зависимости работоспособности относительно всех определяющих ее параметров, то может быть использован полином вида:

$$W(x_1, x_2 \ldots x_m) = \\ = \sum_{i_1=0}^{1} \sum_{i_2=0}^{1} \ldots \sum_{i_m=0}^{1} k_{i_1 i_2 \ldots i_m} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \ldots x_m^{i_m}, \quad (2)$$

где x_1, x_2 x_m — m параметров, определяющих работоспособность, $k_{i_1 i_2 \ldots i_m}$ — коэффициент при очередном члене полинома.

Таким образом, общее количество членов полинома (2) составляет $n = 2^m$. При этом при увеличении количества параметров m, влияющих в рамках используемой модели на работоспособность системы, резко возрастает и количество членов полинома n, а значит, и количество требующих вычисления коэффициентов $k_{i_1 i_2 \ldots i_m}$. Экспоненциальный рост объема вычислений быстро уменьшает преимущества определения работоспособности по аппроксимирующему полиному по сравнению с ее определением непосредственно из расчета модели. В случаях больших m в вычислительном отношении более предпочтителен аппроксимирующий полином вида:

$$W(x_1, x_2 \ldots x_m) = k_0 + \sum_{j=1}^{2L} \sum_{i=1}^{m} k_{ij} x_i^j, \quad (3)$$

где $2L$ — старшая степень членов полинома. В этом случае общее количество членов полинома $n = 2mL + 1$, что значительно меньше, чем для полинома (2). С увеличением L увеличивается точность аппроксимации с помощью (3), а число членов полинома растет в соответствии с линейной зависимостью.

При необходимости максимального повышения точности аппроксимации и отсутствии ограничений по объему вычислений можно использовать комбинированный полином вида:

$$W(x_1, x_2 \ldots x_m) = \\ = \sum_{i_1=0}^{1} \sum_{i_2=0}^{1} \ldots \sum_{i_m=0}^{1} k_{i_1 i_2 \ldots i_m} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \ldots x_m^{i_m} + \quad (4) \\ + \sum_{p=1}^{2L} \sum_{r=1}^{m} d_{rp} x_r^p \quad (m \geqslant 1,\ L \geqslant 1),$$

при общем количестве членов полинома $n = 2^m + 2mL$.

Независимо от вида используемого полинома, перед его использованием для моделирования работоспособности системы необходимо определить значения коэффициентов k (а также d в случае полинома (4)) при n его членах. Для этого назначаются n сочетаний параметров первой группы x_1, x_2, ... x_m, и при каждом из этих сочетаний производится расчет работоспособности с выявлением n значений W, каждое из которых соответствует своему сочетанию параметров. Далее может быть составлена система из n линейных уравнений, в которой неизвестными являются коэффициенты при членах полинома, а правыми частями уравнений служат ранее определенные значения работоспособности W.

После решения системы линейных уравнений и определения значений n коэффициентов полинома становится возможным определение работоспособности W при любых сочетаниях параметров по аппроксимирующему полиному; тем самым отпадает необходимость в многочисленных расчетах с привлечением полной математической модели системы. Значения работоспособности, вычисленные с использованием соответствующего полинома, будут совпадать со значениями, полученными из расчета модели системы, при всех n сочетаниях x_1, x_2 ... x_m, которые были использованы для определения правых частей уравнений. При иных сочетаниях параметров полином будет давать приближенные значения W.

На точность аппроксимации большое влияние оказывает выбор сочетаний параметров для расчета W с использованием полной модели. Рассматривая множество возможных значений параметров как совокупность точек в m-мерном пространстве, можно считать, что каждому сочетанию параметров x_1, x_2 ... x_m соответствует определенная точка, а началом координат является точка со средними значениями этих параметров $\bar{x}_1, \bar{x}_2 \ldots \bar{x}_m$. В этом случае одним из возможных способов для выбора сочетаний параметров является следующий.

В m-мерном пространстве производится построение гиперпараллелепипеда, грани которого перпендикулярны координатным осям, а центр совпадает с началом координат. Данный гиперпараллелепипед имеет $2m$ граней и 2^m вершин. При использовании аппроксимирующего полинома (2), когда количество вершин совпадает с количеством членов полинома, для определения неизвест-

ных коэффициентов целесообразно использовать сочетания параметров, соответствующие точкам в вершинах. При использовании полинома (3) производится построение L гиперпаралеллепипедов различных размеров, с использованием сочетаний параметров, соответствующих точкам на пересечении координатных осей и граней, а также точке начала координат (всего $2mL + 1$ точек). Комбинированный полином (4) требует использования одного основного гиперпараллелепипеда с точками в вершинах и L дополнительных гиперпараллелепипедов с точками по граням; в этом случае точка в начале координат не используется.

При необходимости повышения точности аппроксимации существует два пути. Первый связан с увеличением общего количества членов в аппроксимирующем полиноме, что возможно в случае полиномов (3) или (4); при увеличении L соответственно возрастает и количество точек, в которых определяются точные значения W, а значит, уменьшается и средняя погрешность аппроксимации. Второй путь связан с разбиением области возможных значений параметров на отдельные участки, на каждом из которых производится использование отдельного полинома, со своими значениями коэффициентов. В пределах разных участков возможно использование полиномов различных видов, с неодинаковыми количествами членов и, соответственно, точек, используемых для определения неизвестных коэффициентов. Повышение точности достигается увеличением количества участков и общего количества полиномов, используемых для аппроксимации значений запаса работоспособности W.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Определение надежности автотранспортных систем и их элементов методами статистического моделирования // Грузовик. — 2016. — № 7. — С. 39—44.
2. **Михайлов Г. А.** Замечания о практически эффективных алгоритмах численного статистического моделирования // Сибирский журнал вычислительной математики. — 2014. — № 2. Т. 17. — С. 177—190.
3. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Надежность элементов АТС, описываемых двухфакторной моделью // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2016. — № 1 (44). — С. 7—14.
4. **Багмутов В. П., Савкин А. Н.** Прогнозирование надежности и долговечности углеродистых сталей при статистическом моделировании случайного внешнего нагружения // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2007. — № 1. Т. 1. — С. 14—18.
5. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Оценка обеспеченности ведущей функции потока отказов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2011. — № 1. — С. 16а—20.
6. **Федухин А. В., Сеспедес-Гарсия Н. В.** К вопросу о статистическом моделировании надежности // Математические машины и системы. — 2006. — № 1. — Т. 1. — С. 152—162.
7. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Эффективный алгоритм численной реализации случайных величин в задачах статистического моделирования надежности технических систем // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2016. — № 8. — С. 84—89.
8. **Bucher C. G., Bourgund U.** A fast and efficient response surface approach for structural reliability problems // Structural Safety. — 1990. — Vol. 7. — N 1. — P. 57—66.
9. **Pendola M., Mohamed A., Lemaire M., Hornet P.** Combination of finite element and reliability methods in nonlinear fracture mechanics // Reliability Engineering & System Safety. — 2000. — Vol. 70. — N 1. — P. 15—27.

Лизинг: итоги первого полугодия

"КАМАЗ-ЛИЗИНГ" продемонстрировал значительный рост прожад по итогам первого полугодия: реализовано более 700 ед. автотехники КАМАЗ и НЕФАЗ при плане продаж в 562 ед. Кроме того, в лизинг дополнительно передан 91 автоприцеп.

В числе клиентов, обновивших парк по программам лизинга от производителя, — крупнейшие транспортные компании России. Воспользовавшись интересными лизинговыми предложениями, ведущие игроки рынка грузоперевозок существенно увеличили свои автопарки: в первом полугодии в адрес компаний-партнеров "КАМАЗ-ЛИЗИНГ" поставил от 20 до 200 грузовиков. Наиболее востребованными были магистральные тягачи КАМАЗ-5490, КАМАЗ-5490 NEO, самосвалы КАМАЗ-6520 и КАМАЗ-6520 люкс.

Такой "лизинговый бум" компания ожидает и во втором полугодии — вступают в действие госпрограммы субсидирования приобретения в лизинг автотехники для сельхозпроизводителей малого и среднего бизнеса, а также субсидирование покупки в лизинг тягачей.

Привлечь внимание покупателей к приобретению КАМАЗов могут также новые лизинговые продукты от производителя, разработанные отдельно для каждого сегмента целевой аудитории. Среди них — "Большой лизинг" для крупного бизнеса, "Лизинг для хищников", ориентированный на средний бизнес, "Хозяин успеха" для малого бизнеса и "Экспресс-лизинг" — программа с сокращенными срокмми рассмотрения заявки и выдачи решения. Каждая из программ обладает преимуществами, отражающими интересы своего сегмента.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 656.132

В. А. Максимов, д-р техн. наук, МАДИ, e-mail: vamaximov57@mail.ru,
Н. В. Поживилов, канд. техн. наук, ГУП "Мосгортранс", e-mail: poj-nikita@mail.ru

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОБЪЕДИНЕННОГО АВТОБУСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В Российской Федерации в разных областях деятельности прошел процесс оптимизации (объединения и укрупнения различных служб и предприятий), затронувший, в том числе, транспортные предприятия страны. Процесс оптимизации предполагает существенное снижение затрат предприятия и повышение качества предоставления транспортных услуг за счет рационализации организационной структуры АТП, а также оптимального распределения технологических мощностей производственно-технической службы. Объединенное автотранспортное предприятия имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при проведении технологического расчета предприятия.

Ключевые слова: *автобусный парк, автотранспортное предприятие, технологический расчет, объединенный автобусный парк, оптимизация, трудоемкость обслуживания.*

In the Russian Federation, the process of optimization (including the consolidation of different departments and companies) has taken place in different spheres of business, affecting the field of transport system of the country as well. The main aims of that are to reduce the total costs of a company and improve the quality of transport services through rationalization of the organizational structure of a transit company and also development of optimal distribution of technological capacities of the technical service. An integral transit company has several features that must be taken into account when carrying out the technological calculation of technical base of a transit company.

Keywords: *bus company, transit company, technological calculation, integral transit company, optimization, labor intensity of maintain.*

В Москве под руководством Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры прошла масштабная реорганизация системы перевозки пассажиров частными компаниями. С 15 августа 2016 г. все автобусные маршруты города Москвы были переведены на единые способы оплаты проезда. На сегодняшний день все городские маршруты обслуживаются по единым стандартам и оцениваются по единым требованиям к качеству, безопасности и комфорту перевозки пассажиров и требованиям к подвижному составу, независимо от того, государственный ли это перевозчик или частный.

В результате реформы наземного транспорта к перевозке пассажиров в столице допускают только те компании, качество сервиса которых соответствует требованиям Правительства Москвы.

Ряд преобразований прошел и в структуре основного городского перевозчика — ГУП "Мосгортранс" в ходе оптимизации деятельности компании. Она проходила в несколько этапов и заключалась в укрупнении предприятий вследствие кооперации филиалов по группам и формирования объединенных филиалов с целью повышения качества перевозки пассажиров и снижения эксплуатационных издержек предприятия.

Объединенные филиалы носят названия округов Москвы согласно расположению основной доли маршрутов, которые они обслуживают, а территории бывших автобусных и троллейбусных парков называются эксплуатационными площадками.

Некоторые объединенные филиалы включают не только бывшие автобусные парки, но и троллейбусные. Например, Филиал Северо-Восточный ГУП "Мосгортранс" имеет в своей структуре бывшие 3-й, 6-й, 7-й автобусные парки, а также бывший 6-й троллейбусный парк.

Общая численность подвижного состава (ПС) ГУП "Мосгортранс" не сократилась, однако руководству объединенных филиалов предстоит скорректировать работу подведомственных про-

изводственных подразделений, в том числе систему обслуживания и ремонта подвижного состава, структуру и мощность производственно-технической базы (ПТБ) с учетом особенностей работы каждой эксплуатационной площадки [1].

При совершенствовании системы ТО и ремонта объединенного филиала, определении структуры и мощности ПТБ необходимо провести технологический расчет с учетом особенностей расположения и работы всех эксплуатационных площадок для определения необходимого числа ремонтных рабочих, рабочих постов, площадей производственных и складских помещений.

Технологический расчет объединенного автобусного филиала ГУП "Мосгортранс" является комплексным методом расчета производственно-технической базы филиала и осуществляется по представленному ниже алгоритму (рис. 1). Он основывается на существующей методике расчета ПТБ [2] с учетом корректирования нормативов технической эксплуатации [3]. На схеме, в качестве примера, представлен алгоритм для расчета объединенного автобусного филиала, состоящего из двух эксплуатационных площадок.

На первом этапе технологического расчета производится сбор и обработка исходных данных. Причем необходимо производить сбор данных по всем эксплуатационным площадкам объединенного филиала.

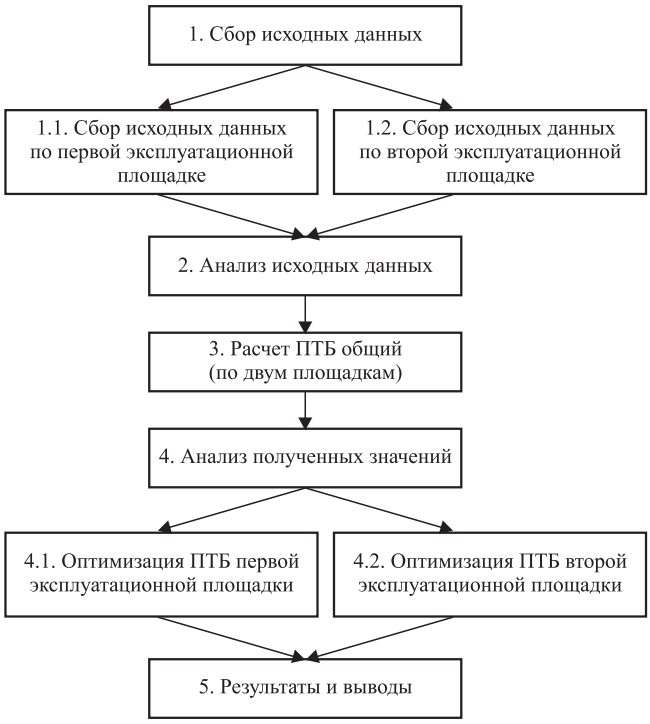


Рис. 1. Алгоритм расчета объединенного автобусного парка

Основными исходными данными для технологического расчета являются:

1 — списочное количество подвижного состава по моделям, A_c;

2 — среднегодовой пробег единицы подвижного состава, L_{cc};

3 — средний пробег подвижного состава с начала эксплуатации по моделям $L_{общ}$.

Дополнительными исходными данными для технологического расчета являются:

1 — пробег подвижного состава до капитального ремонта (ресурс автомобиля) по моделям, $L_{кр}i$;

2 — периодичность ТО и трудоемкость работ ТО, текущего ремонта (ТР), сезонного обслуживания (СО) и ежедневного обслуживания(ЕО);

3 — число дней работы в году, число смен и продолжительность одной смены работы на постах и участках ПТБ.

Для повышения точности технологического расчета рекомендуется использовать современные нормативы по ТО и ремонту, утвержденные на конкретном предприятии, поскольку данные, приведенные в [2, 3], фактически устарели.

Нормативы периодичности и трудоемкости проведения технических обслуживаний ряда современных низкопольных моделей автобусов, утвержденные ГУП "Мосгортранс", представлены в таблице [4].

Анализ ее данных показывает, что приведенные нормативы утверждены уже с учетом условий эксплуатации подвижного состава и природно-климатических условий, в результате чего отпадает необходимость в их корректировании по коэффициентам K_1 и K_3, отражающим категорию условий эксплуатации ПС и климатический район.

На втором этапе технологического расчета производится анализ обработанных исходных данных, выявление особенностей работы эксплуатационных площадок, передовых и отстающих зон обслуживаний и цехов. Выдвигаются гипотезы о целесообразности объединения, сокращения, централизации или унификации зон обслуживания и ремонтных подразделений для каждой эксплуатационной площадки объединенного филиала, исходя из реальной ситуации, сложившейся на ней, и существующей организационной структуры.

Изменения в конструкции автобусов, технологии их обслуживания, ремонта, хранения и требования к безопасной эксплуатации потребовали изменений организационной структуры производственной службы и производственно-

Нормативы периодичности технических обслуживаний современных моделей городских автобусов [4]

Наименование и обозначение технического обслуживания и ремонта	Периодичность проведения технических обслуживаний, км/трудоемкость технических обслуживаний, чел·ч			
	Дизельные		Газовые	
	Большой вместимости (ЛиАЗ-529222)	Особо большой вместимости (ЛиАЗ-621322)	Большой вместимости (ЛиАЗ-529271)	Особо большой вместимости (ЛиАЗ-62137)
Ежедневное обслуживание (ЕО)	Ежедневно (в ночное время) до выпуска автобуса на линию/ не регламентируется			
Первое техническое обслуживание (ТО-1)	10 000 км/ 6,40 чел·ч	10 000 км/ 7,40 чел·ч	10 000 км/ 9,54 чел·ч	10 000 км/ 12,00 чел·ч
Второе техническое обслуживание (ТО-2)	20 000 км/ 24,10 чел·ч	20 000 км/ 29,70 чел·ч	20 000 км/ 29,20 чел·ч	20 000 км/ 40,10 чел·ч
Сезонное обслуживание (СО) перед зимним сезоном/перед летним сезоном	Два раза в год по графику, разработанному в автобусном парке			
	9,40/6,58 чел·ч	11,84/8,29 чел·ч	10,31/7,22 чел·ч	11,84/8,29 чел·ч

технической базы автотранспортных предприятий (АТП) (рис. 2) [2, 5].

Практически это вылилось в реорганизацию ряда производственных подразделений (моторный, топливный, пневмоагрегатный и др.), а также появлению новых структур (ремонт кондиционеров, пост удаления вандальных надписей, ремонт газовой аппаратуры и др.).

При проведении технологического расчета необходимо руководствоваться действующими методиками [2, 3], однако использовать актуальные нормативы технической эксплуатации и современную организационную структуру предприятия.

На третьем этапе производится расчет производственно-технической базы объединенного автобусного филиала, причем исходные данные по двум эксплуатационным площадкам принимаются совокупно, а расчет проводится по тому же алгоритму, что и для обычного АТП. При расчете учитывается помодельно подвижной состав, особенности его эксплуатации, облуживания и ремонта, режим работы для каждой эксплуатационной площадки и т. д.

В результате технологического расчета определяются:

— годовые объемы работ по ТО и ТР на АТП, включая вспомогательные работы;

— распределение работ по производственным зонам и участкам предприятия;

— численность производственных рабочих;

— численность вспомогательных рабочих;

— численность постов и линий для ТО и числа постов для текущего ремонта;

— состав и расчет площадей производственных, складских помещений, площадей зон хранения и площадей административно-бытовых помещений.

Для проведения доброкачественного технологического расчета необходимо учитывать изменения, произошедшие в сфере автомобильного транспорта за последнее время. В частности, изменились значения нормативов периодичности и трудоемкости работ ТО и трудоемкости ремонтных работ подвижного состава.

Нормативы периодичности ТО-1 возросли в 3—6 раз, для ТО-2 в 1,5-3 раза, пробег до капитального ремонта ($L_{КР}$) в 1,5—2 раза [6]. Пробег до капитального ремонта сегодня фактически является сроком службы автобуса вплоть до утилизации, т. е. подразумевается эксплуатация автобуса без проведения капитального ремонта.

Трудоемкость работ ежедневного обслуживания (ЕО) снизилась в 2 раза, что связано в первую очередь с совершенствованием моечного и уборочного оборудования, произошло перераспределение трудоемкости работ между ТО-1 и ТО-2, кроме того, появился норматив сезонного обслуживания (СО) по моделям и по сезонам [4]. Ранее производственная программа СО для условий ГУП "Мосгортранс" рассчитывалась как 20 % производственной программы ТО-2 [3, 6].

На четвертом этапе технологического расчета проводится анализ полученных данных, моделируются различные варианты реализации выдвигаемых гипотез (второй этап), проверяется актуальность и адекватность проведения комплекса организационных мер (объединение, сокращение и т. д.), оцениваются преимущества и недостатки проектов модернизации в результате расчета.

В результате подбирается и обосновывается режим работы зон и участков, методов организации ТО и диагностирования подвижного состава.

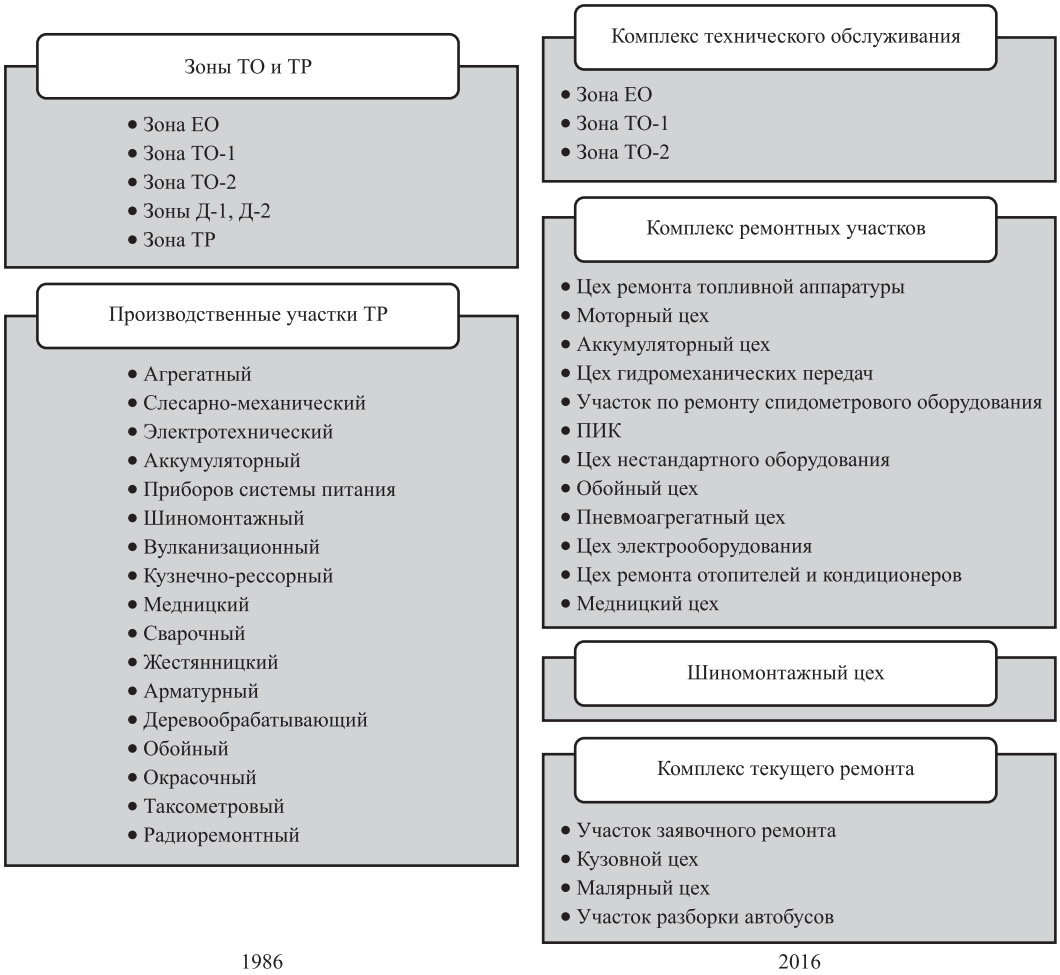


Рис. 2. Организационная структура производственной службы АТП 1986 и 2016 гг.

На пятом этапе технологического расчета представляются результаты, отражающие основные данные ПТБ, даются рекомендации по формированию организации работы филиала, делаются выводы.

По результатам технологического расчета рекомендуется проводить дальнейшую оптимизацию в системе организации обслуживания и ремонта подвижного состава объединенного предприятия. Основываясь на результатах технологического расчета ПТБ предприятия, можно обоснованно проводить дальнейшие преобразования и принимать управленческие решения, приводящие к снижению производственных издержек, а самое главное, позволяющие повысить качество перевозки пассажиров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Максимов В. А., Поживилов Н. В., Павлий Я. А., Чокля А. В.** Особенности технологического расчета объединенного автобусного предприятия // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. — М.: МАДИ, 2017. — С. 141—145.
2. **ОНТП-01-91.** Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. — М: Гипроавтотранс, 1991. — 184 с.
3. **Положение о техническом обслуживании** и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. — М.: Транспорт, 1986. — 78 с.
4. **Руководство** по системе технического обслуживания и ремонта автобусов. Государственное унитарное предприятие города Москвы. — М.: Мосгортранс, 2015.
5. **Поживилов Н. В., Максимов В. А., Зиманов Л. Л.** Особенности технологического расчета производственно-технической базы современного автобусного автотранспортного предприятия // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. — М.: Изд-во МАДИ, 2015. — С. 179—182.
6. **Максимов В. А., Поживилов Н. В.** Технологический расчет производственно-технической базы автобусного предприятия в современных условиях // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. — М.: МАДИ, 2016. — С. 150—154.

УДК 65.4я73

Х. А. Фасхиев, д-р техн. наук, профессор, **А. В. Крахмалева,** канд. эконом. наук,
Уфимский филиал Финансового университета, Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mal: faskhiev@mail.ru

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Разработан метод измерения конкурентного потенциала автотранспортного предприятия, суть которого заключается в интегрировании в один числовой показатель выбранных показателей по методу профилей. При этом показатели группируются, их веса рассчитываются методом анализа иерархий. Предложенная двухступенчатая модель управления конкурентным потенциалом предприятия основывается на разработанном методе его измерения и представляет собой комплексную оценку основных сфер его деятельности, выявление проблем, по которым принимаются меры по улучшению показателей конкурентного потенциала.

Ключевые слова: *рынок транспортных услуг, автотранспортное предприятие, подвижной состав, конкурентный потенциал, оценка, показатель.*

The method of measurement of competitive capacity of the motor transportation entity which essence consists in integration in one numerical indicator of the chosen indicators by a method of profiles is offered. At the same time indicators are grouped which weight are calculated by method of the analysis of hierarchies. Two-level management model is developed by the competitive capacity of the entity in which complex assessment of the main spheres of its activities is made, problem areas on which measures for improvement of indicators of activities are taken come to light.

Keywords: *market of transport services, motor transportation entity, railway vehicles, competitive potential, assessment, indicator.*

Автомобильный транспорт является важнейшей составной частью транспортной инфраструктуры России. На его долю приходится 59 % общего объема перевозок пассажиров и более 58 % общего объема перевозок грузов. Современное состояние автомобильного транспорта в России характеризуется достаточно высокими темпами роста автомобилизации. За период 2005—2015 гг. автомобильный парк страны увеличился на 58 % и в 2015 г. составил 55,7 млн ед. Рыночные преобразования в России, создание множества новых предприятий различной формы собственности; широкое развитие индивидуального предпринимательства; рост конкуренции на рынке транспортных услуг; сужение роли государства в регулировании рынка транспортных услуг, периодически повторяющиеся кризисные явления привели к коренным изменениям в системе управления на предприятиях автомобильного транспорта.

С развитием рынка транспортных услуг, с усилением конкуренции требования клиентов к перевозчикам многократно возросли. "Невидимая рука" рынка, т. е. конкуренция всё сильнее заставляет перевозчиков мобилизовать больше сил для завоевания "места под солнцем", искать более эффективные инструменты управления бизнесом. Рыночная позиция автотранспортного предприятия (АТП) наиболее полно характеризуется категорией "конкурентоспособность".

Конкурентоспособность АТП — это оцененное экономическими субъектами внешней среды его превосходство на определенных сегментах транспортного рынка над конкурентами в момент оценки, достигнутое без ущерба окружающим, определяемое конкурентоспособностью его услуг, уровнем интеллектуального капитала и конкурентного потенциала (КП), характеризующим способность АТП в будущем обеспечивать превосходство своих услуг по качеству и тарифам [1]. В определении подчеркивается, что конкурентоспособность АТП — это синергетический результат конкурентоспособности оказываемых им услуг и его конкурентного потенциала.

Под категорией "конкурентоспособность услуги" подразумевается оцененное потребителями

превосходство ее по качеству и цене (тарифам) над аналогами в определенный момент времени, в конкретном сегменте рынка, достигнутое без ущерба производителю.

Необходимо отметить, что конкурентоспособность предприятия и конкурентоспособность его продукции (услуг) не одно и то же. Так, если АТП, предоставляющее в данный момент времени вполне конкурентоспособные транспортные услуги, не обновляет основные фонды, имеет устаревшую производственно-техническую базу, низкую трудовую дисциплину, рост числа дорожно-транспортных происшествий с участием собственных водителей, тенденцию к снижению коэффициента выпуска подвижного состава и др., то говорить о конкурентоспособности данного АТП не приходится. И наоборот, предприятие с очень высокими потенциальными возможностями может выпускать низкокачественную продукцию.

Конкурентоспособность, направленная на будущее, основывается на конкурентном потенциале АТП, характеризует его способность в настоящем и будущем обеспечивать конкурентоспособность оказываемых услуг, получить максимальный результат при минимальных трудовых, финансовых и материальных затратах. Конкурентный потенциал является структурным элементом конкурентных отношений и представляет собой совокупность располагаемых природных, материальных, трудовых, финансовых ресурсов субъектов хозяйствования, а также институционального потенциала как совокупности сложившихся традиций и обычаев, правил и норм и возможностей варьирования последними с целью минимизации издержек, что дает им превосходство перед конкурентами. Он накапливается в течение достаточно длительного периода и проявляется в рыночной позиции АТП, в его финансовом благополучии.

Термин "конкурентный потенциал" применительно к АТП должен характеризовать не столько производственные возможности, сколько интегральные способности его максимально удовлетворять потребности клиентов, рационально используя при этом ресурсы и учитывая интересы государства, партнеров по бизнесу.

Можно привести такую аналогию. На результат спортсмена в соревнованиях влияет множество внешних и внутренних факторов. Условия соревнования для всех спортсменов одинаковы. Индивидуальный результат атлета формируется благодаря его внутренним факторам, т. е. потенциалу атлета. Перспективы спортсмена оцениваются по результатам предыдущих соревнований и по его потенциалу. По аналогии должно оцениваться и предприятие — по конкурентоспособности товаров (услуг) и потенциалу.

В литературе часто понятие "конкурентный потенциал" отождествляют с "ресурсным потенциалом". Ресурсный потенциал — это то, без чего ни одно предприятие не в состоянии осуществлять свою деятельность и конкурировать с себе подобными участниками деловых отношений. Потенциал субъектов бизнеса следует всегда рассматривать как необходимую предпосылку успешной конкуренции независимо от предмета и содержания деловой деятельности. Авторы работы [2] относят элементы ресурсного потенциала компании к числу ключевых факторов успеха. Действительно, ресурсный потенциал предприятия является интегральным фактором успеха в конкурентной борьбе в долгосрочном плане. Однако для правильного понимания сути категории "конкурентный потенциал" целесообразно подчеркнуть, что сами по себе элементы ресурсного потенциала еще не свидетельствуют о конкурентных возможностях предприятия. Для получения целостной картины необходимо указать два фактора:

1. Наличие в арсенале фирмы реальных инструментов превращения потенциала в фактор действительной конкуренции;

2. Результаты сравнительного анализа потенциалов конкурирующих предприятий, в ходе которого можно сделать вывод о наличии либо об отсутствии у них конкурентных преимуществ друг перед другом.

Разница между обозначенными категориями заключается в наличии организационно-управленческих и деловых рычагов, позволяющих привести имеющийся потенциал в движение. Эти рычаги сами по себе не могут находиться вне потенциала предприятия, они являются составной частью ее ресурсов.

Для целей управления необходимо измерять уровень конкурентного потенциала, так как тем, что не измеряется, невозможно управлять. В сфере количественной оценки качества объектов, в том числе конкурентного потенциала, имеется ряд нерешенных проблем, препятствующих объективно получить конечный результат.

Вот некоторые из них.

1. Качество характеризуется большим числом показателей, часть из которых невозможно измерить количественно.

2. Показатели вносят на конечный результат неодинаковый вклад, и невозможно оценить его

величину. Коэффициенты весомости показателей определяются субъективно.

3. Определенные затруднения вызывает интегрирование разноразмерных показателей в одно число.

4. Качество — не механическая сумма показателей, а синергетическая характеристика всех свойств объекта, что трудно оценить формально.

5. Качество должно оцениваться за жизненный цикл объекта, для чего необходим мониторинг показателей качества за весь период эксплуатации.

6. Известные методы не учитывают динамику параметров объекта за его жизненный цикл.

7. Единых правил содержательного и количественного аспекта формирования номенклатуры оценочных показателей исследуемых объектов нет.

8. Неизвестно, сколько показателей необходимо для объективной оценки качества?

9. При расчете интегрального показателя в роли индивидуальных показателей часто принимают отношение показателя оцениваемого изделия и базового, а правила выбора базы нет.

10. В номенклатуре показателей часто отсутствует обоснованная привязка технических, коммерческих и нормативных аспектов объекта.

11. Часто в оценку вводится субъективизм путем перевода измеренных количественных параметров в баллы.

12. В методах оценки качества часто игнорируются требования квалиметрии.

Несмотря на названные нерешенные проблемы, на практике применяется ряд методов количественной оценки качества. Так, диагностику и измерение конкурентного потенциала предприятия, как правило, осуществляют на основе следующих трех подходов.

Во-первых, в ресурсном подходе конкурентный потенциал рассматривают как совокупность используемых в производстве продукции ресурсов, основных фондов и предметов труда. При этом анализируется только ресурсная составляющая потенциала. В результате взаимодействия ресурсов, составляющих систему, в соответствии с законами развития систем, проявляется эффект синергии, т. е. возникают новые свойства, которыми каждый отдельный вид ресурса не обладает. Оценка заключается в определении стоимости располагаемых ресурсов, а уровень использования определяется отношением полученного результата к объему использованных ресурсов.

Во-вторых, в результативном подходе конкурентный потенциал представляется как способность предприятия осваивать, перерабатывать располагаемые ресурсы для удовлетворения потребителей. Результат определяется наличием у предприятия любого вида потенциала и его умелым использованием. Как только организация начинает поддерживать имеющийся потенциал в устойчивом состоянии и, возможно, развивать его, она получает конкурентное преимущество. При этом анализируется и оценивается максимальное количество благ, которое предприятие может произвести и реализовать на рынке при данном количестве и качестве, строении ресурсов.

В-третьих, в резервном подходе конкурентный потенциал рассматривается с точки зрения резервов повышения результатов производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Резервы — это неиспользованные возможности повышения эффективности деятельности, усиления воздействия факторов, способствующих росту показателей эффективности, устранения негативного влияния факторов внутренней и внешней среды. Выявление резервов и определение путей их мобилизации являются основными задачами экономического анализа потенциала предприятия.

Недостаток всех трех подходов в том, что ни в одном из них измерение интегрального значения конкурентного потенциала не осуществляется, а управление сводится к реализации мер, направленных на улучшение того или иного показателя, характеризующего потенциал предприятия.

Широко применяемый на практике инструмент оценки внутренней среды предприятия SWOT-анализ, направленный на выявление сильных и слабых сторон предприятия, его возможностей и угроз, не формализован и ориентирован на качественную оценку [2, 3]. По результатам SWOT-анализа невозможно сравнить потенциал конкурентов, проследить его динамику за исследуемый период. Этот инструмент не пригоден для моделирования уровня конкурентного потенциала объекта, а лишь указывает направление изменений на предприятии.

Анализ литературы позволяет делать вывод о том, что в настоящее время общепринятых инструментов оценки и управления конкурентным потенциалом предприятия нет.

Цель статьи — разработка модели измерения конкурентного потенциала автотранспортного предприятия и управления его уровнем.

АТП, как и любая организация, является многоструктурной, сложной системой. Его продукцией на выходе является транспортная услуга,

и его входящие ресурсы, а также система оказания услуг, т. е. конкурентный потенциал должны соответствовать оценке "отлично". Для выявления уровня оценки и необходим объективный инструмент измерения конкурентного потенциала. В менеджменте известно изречение: что не измеряется, тем невозможно управлять. Если выразиться образно, оценка объекта — это включение освещения в темной комнате, после чего становится видно — где какая вещь находится, и как все рационально расставить. Результаты измерения конкурентного потенциала необходимы для управления его уровнем, определения конкурентной позиции предприятий, выбора поставщиков и подрядчиков, привлечения инвестиций, выбора объектов инвестирования, определения победителей конкурсов т.д.

На конкурентный потенциал АТП влияют внешние и внутренние факторы. Выбор номенклатуры показателей, выражающих эти факторы, осуществляется с учетом особенностей деятельности хозяйствующего субъекта и требований клиентов к нему. Практика показывает, что АТП с высоким конкурентным потенциалом, как правило, имеют следующие качественные характеристики.

1. Современный парк подвижного состава и производственно-техническая база, способные с минимальными затратами, в установленные сроки эффективно выполнять перевозку по широкому спектру заказов.

2. Адаптивная, ориентированная на маркетинг система обеспечения качества услуг.

3. Развитая, инновационно-ориентированная служба маркетинга и стратегического развития.

4. Высококвалифицированный и непрерывно обучающийся персонал.

5. Разветвленная система приема заказов, поиска клиентов и оказания широкого спектра транспортно-экспедиционных услуг.

6. Постоянно улучшающиеся показатели финансово-хозяйственной деятельности.

7. Наличие собственных финансовых средств на развитие и возможность привлечения их со стороны.

8. Компетентный, активный менеджмент, мотивированный на обеспечение конкурентоспособности предприятия.

Этот перечень может быть расширен или сужен исходя из ситуации на рынке. В литературе, например [2, 3], конкурентный потенциал предприятия рекомендуют характеризовать следующими внутренними факторами: финансы; производство; организационно-управленческие особенности; сотрудники; технологии; маркетинг.

Следует заметить, что в перечне отсутствуют такие важные аспекты деятельности предприятия, как система качества, разработка новых товаров (услуг). Технология может быть отнесена к "производству". Кроме того, перечень не учитывает специфику транспортной отрасли, управление интеллектуальным капиталом. В перечень показателей, характеризующих конкурентный потенциал, следует включить показатели, определяющие вышеназванные аспекты деятельности АТП. Количество и состав показателей конкурентного потенциала, как правило, определяется исходя из их значимости, целей оценки, возможности получения информации и др.

После выбора показателей потенциала и их группировки декомпозиционно-агрегатным методом рассчитываются комплексные и интегральные показатели конкурентного потенциала [4, 5]. В таблице для примера приведена номенклатура и классификация показателей конкурентного потенциала АТП. Принятая номенклатура конкурентного потенциала (59 показателей) были классифицированы на следующие группы: 1) технической эксплуатации (15 показателей); 2) финансово-хозяйственной деятельности (15); 3) системы менеджмента качества (4); 4) развития (8); 5) персонала и социального развития (14); 6) уровня управления (3).

В каждой группе выделены прямые и обратные показатели. Для прямых показателей с увеличением значений конкурентный потенциал повышается, а для обратных — снижается.

Для управленческих целей производим количественную оценку конкурентного потенциала АТП по группам показателей и по совокупности групп. Расчет групповых показателей и интегрального конкурентного потенциала АТП будем осуществлять на основе метода профилей [5, 6]. Интегральный коэффициент конкурентного потенциала определяется из соотношения:

$$P_j = (Z_1/2 + Z_2 + Z_3 + ... + Z_{n-1} + Z_n/2)/(n-1), \quad (1)$$

где Z_1, Z_2, Z_3, Z_i, ..., Z_n — величины, рассчитываемые по формулам:

$$Z_i = \frac{\Pi_i - \Pi_{i\min}}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}, \quad (2)$$

или

$$Z_i = \frac{\Pi_{i\max} - \Pi_i}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}. \quad (3)$$

Здесь $П_{i\,max}$ и $П_{i\,min}$ — максимальные и минимальные значения *i*-го показателя среди сравниваемых объектов; $П_i$ — значение *i*-го показателя для оцениваемого объекта. Формула (2) используется для прямых, а (3) — для обратных показателей. Наименьшие значения показателей могут быть приняты равными нулю. Тогда формулы (2)-(3) упрощаются, но это не оказывает влияния на конечный результат.

Номенклатура показателей конкурентного потенциала ООО "ПЭК"

Показатели	Формула расчета*	Условное значение $П_{imax}$	Значения показателей $П_i$	
			2014 г.	2015 г.
Группа 1. Показатели технической эксплуатации				
1.1 Коэффициент технической готовности, %	—	100	89	89
1.2. Уровень механизации техобслуживания и ремонта	Трудоемкость механизированных операций (чел·ч)/Общая трудоемкость всех операций (чел·ч)	0,50	0,25	0,27
1.3. Средний возраст подвижного состава**, лет	—	20	3,1	4,2
1.4. Износ автомобилей **	Износ автомобилей/Остаточная стоимость автомобилей	0,95	0,25	0,16
1.5. Износ технологического оборудования техобслуживания и ремонта, %**	Износ машин и оборудования/Остаток машин и оборудования на конец периода 100	100	42	46
1.6. Удельные затраты на техобслуживание и ремонт на единицу ПС, тыс. руб/авт.**	—	100	25,60	19,89
1.7. Доля затрат на техобслуживание и ремонт в себестоимости перевозок, %**	—	40	16	17
1.8. Доля ремонтных рабочих в общей численности по АТП, %**	—	30	15,8	15,1
1.9. Производительность ремонтных рабочих, авт./чел	Количество ПС/Количество ремонтных рабочих	10	2,2	2,3
1.10. Стоимость производственно-технической базы, млн руб.	—	200	115	115,6
1.11. Фондоотдача	Выручка/Стоимость ПТБ	4	1,61	2,14
1.12. Несвоевременность проведения технического обслуживания ПС, % **	Количество автомобилей, не проходивших своевременно ТО/Среднесписочное количество ПС·100	20	1,8	2,3
1.13. Число дорожно-транспортных происшествий на период, связанных с ПС предприятия **	—	50	14	11
1.14. Средний стаж водителей, лет	—	30	7	8
1.15. Среднегодовой пробег автомобиля, тыс. км	Общий годовой пробег всего парка/среднесписочное количество автомобилей	250	43,3	49,5
Итого по группе	Коэффициент весомости $\lambda = 0{,}046$		0,512	0,475

Продолжение таблицы

Показатели	Формула расчета*	Условное значение $П_{imax}$	Значения показателей $П_i$	
			2014 г.	2015 г.
Группа 2. Показатели финансово-хозяйственной деятельности				
2.1. Объем перевозки пассажиров, млн пасс.	—	20	9,8	10,9
2.2. Пассажирооборот, млн пасс·км	—	400	205,6	248,1
2.3. Выручка от перевозок, млн руб.	—	500	180,8	246,1
2.4. Выручка от ТО и ремонта ПС других предприятий, млн руб	—	20	10,5	14,7
2.5. Выполнение плана перевозок на договорной основе, %	Qфакт/Qплан·100	100	95	96,4
2.6. Число постоянно обслуживаемых организаций	—	50	15	16
2.7. Коэффициент выпуска автомобилей на линию	—	1	0,71	0,78
2.8. Доля перевозок на договорной основе, млн пас.	—	6	1,67	2,10
2.9. Чистая прибыль предприятия, млн руб.	—	50	−34,6	9,7
2.10. Рентабельность перевозок, %	Чистая прибыль от перевозок/Общие затраты на перевозки·100	15	−14,50	3,47
2.11. Средний объем перевозок на один автомобиль, тыс. пас.	Общий объем перевозок/Среднесписочное количество автомобилей	50	29,6	35,2
2.12. Обеспеченность собственными оборотными средствами	(Собственные средства — внеоборотные активы)/Текущие активы	2	0,38	−0,35
2.13. Доля международных перевозок в общем объеме, %	—	—	—	—
2.14. Удельные затраты на перевозки, руб/пасс·км**	Затраты на перевозки/Общий пассажирооборот	5	0,95	0,91
2.15. Доля предприятия на рынке перевозок по стране (по региону), %	Объем перевозок предприятия на рынке/Общий объем перевозок по стране (региону)·100	10	2,1	3,2
Итого по группе	Коэффициент весомости $\lambda = 0,299$		0,471	0,495
Группа 3. Показатели качества				
3.1. Доля отказов на заявки в связи с отсутствием соответствующего ПС, %**	Число отказов на услуги за период/Число всех полученных заявок за период · 100	30	9	12
3.2. Доля затрат на улучшение качества перевозок, %	—	5	1,1	2,1
3.3. Уровень соблюдения технологической дисциплины, %**	Число зафиксированных контролирующими органами нарушений требований НТД/Число проверенных требований НТД·100	20	7	8

Продолжение таблицы

Показатели	Формула расчета*	Условное значение $П_{imax}$	Значения показателей $П_i$	
			2014 г.	2015 г.
3.4. Аттестация оборудования ТО и ремонта, %	Число аттестованного оборудования/Число подлежащего к аттестации оборудования·100	100	94	97
Итого по группе	Коэффициент весомости λ = 0,229		0,481	0,558
Группа 4. Показатели развития				
4.1. Прирост объема перевозок, %*	Объем перевозок данного года/Объем перевозок предыдущего года·100	50	−28,1	12,7
4.2. Прирост прибыли, %	Прибыль от перевозок данного года/Прибыль от перевозок предыдущего года·100	50	−30,2	12,8
4.3. Темп обновления парка ПС, %	Стоимость введенных за период фондов на обновление ПС/Стоимость фондов на конец периода·100	10	2,1	2,9
4.4. Прирост числа постоянно обслуживаемых организаций	Число освоенных за период новых видов перевозок/число постоянно обслуживаемых предприятий·100	50	22	27
4.5. Внедрение новых технологий, оборудования	Число внедренных новых технологий, оборудования	50	1	2
4.6. Экономический эффект от внедрения новых маршрутов, тыс. руб.	—	300	98	212
4.7. Темп обновления технологического оборудования ТО и ремонта, %	Стоимость введенных за период фондов на оборудование/Стоимость соответствующих фондов на конец периода·100	20	2,9	3,8
4.8. Доля инвестиций, %	Объем инвестиций/Выручка от перевозок·100	10	4,1	4,8
Итого по группе	Коэффициент весомости λ = 0,093		0,181	0,260
Группа 5. Показатели персонала и социальной сферы				
5.1. Средний возраст работников, лет**	Средневзвешенный возраст по среднесписочной численности	60	40	45
5.2. Доля работников с высшим образованием, %	Число работников с высшим образованием/Среднесписочная численность·100	30	5	4
5.3. Доля работников, обучающихся в вузах и техникумах, %	Число студентов вузов и техникумов/Среднесписочная численность работников·100	30	7	10
5.4. Число работников с ученой степенью	—	—	0	0
5.5. Повышение квалификации, %	Число работников, повышающих квалификацию за период/Среднесписочная численность·100	40	5	7
5.6. Уровень заработной платы	Средняя зарплата по предприятию/Средняя зарплата по стране	3	1,122	1,311
5.7. Доля нарушителей трудовой дисциплины, %**	Число нарушителей трудовой дисциплины/Среднесписочная численность·100	20	1	2

Окончание таблицы

Показатели	Формула расчета*	Условное значение $П_{imax}$	Значения показателей $П_i$	
			2014 г.	2015 г.
5.8. Частота несчастных случаев в производстве, %**	Число работников, попавших в несчастный случай на производстве/Среднесписочная численность работников·100	1	0,0011	0,0012
5.9. Доля неаттестованных рабочих мест, %**	Число неаттестованных рабочих мест/Число рабочих мест·100	100	4	6
5.10. Творческая активность работников	Число полученных патентов, поданных рационализаторских предложений/Среднесписочная численность работников	1	0,007	0,010
5.11. Потери рабочего времени при ТО и ремонте, %**	Потери рабочего времени (чел·ч)/Фонд рабочего времени (чел·ч)·100	40	10	11
5.12. Финансирование социальной сферы, %	Средства, выделенные на социальную сферу/Объем перевозок·100	5	0,9	1,1
5.13. Коэффициент обеспеченности работниками	Число технологически необходимых работников/Число штатных работников	1	0,89	0,92
5.14. Текучесть кадров**	(Сумма принятых и уволенных работников)/Среднесписочная численность за период	20	20,8	25
Итого по группе	Коэффициент весомости λ = 0,264		0,391	0,401
Группа 6. Показатели уровня управления				
6.1.Доля управленцев в общей численности, %**	Количество административно-управленческого персонала/Среднесписочная численность·100	10	8,65	9,37
6.2. Эффективность управления, тыс. руб./чел	Чистая прибыль/Число административно-управленческого персонала	5000	−423	117
6.3. Коэффициент неорганизованности производства	Количество автомобилей, готовых к эксплуатации/количество автомобилей, вышедших на линию	1	0,89	0,87
Итого по группе	Коэффициент весомости λ = 0,069		0,355	0,474
Интегральный коэффициент конкурентного потенциала без учета имиджа			0,419	0,460
Коэффициент имиджа			0,408	0,398
Интегральный коэффициент конкурентоспособности АТП с учетом коэффициентов весов групп показателей			0,171	0,183

*Формулы расчета показателей не приведены. ** Обратные показатели.

Групповые показатели конкурентного потенциала позволяют судить о том, по каким направлениям деятельности предприятие опережает конкурентов, а по каким имеются проблемы. При анализе одного и того же АТП в разные периоды времени, как принято в таблице, сравниваются комплексные и интегральные показатели конкурентного потенциала АТП в разные периоды, выявляется динамика результатов его деятельности. По результатам анализа разрабатываются мероприятия, направленные на решение имеющихся проблем АТП.

Интегральный показатель конкурентного потенциала предприятия рассчитывается с учетом коэффициентов весомости групповых показателей, определенных по формулам (1)—(3) (см. таблицу). Коэффициенты весомости групп показателей целесообразно определять по методу

анализа иерархий (МАИ) [7]. МАИ, в отличие от других известных методов, учитывает многокритериальность и неопределенность задачи, позволяет осуществлять выбор рационального решения из альтернатив на основе критериев, выраженных как количественными, так и качественными характеристиками. В МАИ веса групп показателей не назначаются субъективно, а рассчитываются на основе сравнения групп по парам [4].

В работе коэффициенты весомости групп показателей были определены по МАИ (см. таблицу), а интегральный коэффициент конкурентного потенциала рассчитывался как сумма произведений групповых показателей и их весов по формуле:

$$K_{\text{пот}} = \sum_{i=1}^{n} P_i \lambda_i, \qquad (4)$$

где P_i — групповой показатель качества i-й группы; λ_i — коэффициент весомости i-й группы показателей качества.

Определенный по вышеописанному алгоритму конкурентный потенциал имеет недостаток — не учитывает имидж предприятия. А ведь имидж есть один из существенных факторов, свидетельствующих о конкурентных позициях субъекта. Действительно, он формируется благодаря безукоризненному удовлетворению потребностей клиентов в течение длительного периода, на что не все компании способны. Если у компании имидж высок, значит, она обладает высоким потенциалом разрабатывать, производить конкурентоспособные товары (услуги), продавать их и обслуживать клиентов на высоком уровне.

Имидж предприятия в конкурентном потенциале может быть учтен за счет поправки конкурентного потенциала, рассчитанного по формуле (4), на коэффициент имиджа $K_{\text{и}}$ по формуле:

$$K_{\text{п}} = K_{\text{пот}} K_{\text{и}}. \qquad (5)$$

Коэффициент имиджа определяется на основе результатов рыночных исследований, например, путем анкетирования потенциальных покупателей товаров (услуг) исследуемого предприятия по формуле:

$$K_{\text{и}} = \beta Д_1 + (1 - \beta) Д_2, \qquad (6)$$

где $Д_1$ — коэффициент узнаваемости, определяемый как доля респондентов, положительно ответивших на вопрос "Знаете ли Вы данное предприятие?"; $Д_2$ — коэффициент лояльности потребителей, равный доле потребителей из опрошенных, отдавших предпочтение, желание купить товары (услуги) именно этого предприятия; β — коэффициент весомости показателей имиджа. Значение β рекомендуется принимать в пределах от 0,1 до 0,3.

Рассмотрим пример оценки конкурентного потенциала транспортной компании ОО "ПЭК" за 2014—2015 гг.

Коэффициент имиджа предприятия определялся на основе анкетирования слушателей курсов повышения квалификации по логистике и студентов-заочников направления подготовки бакалавров "Технология транспортных процессов" в УГАТУ. В анкетировании в 2014 г. участвовали 32, в 2015 г. — 43 респондента. По результатам обработки анкет для принятого значения $\beta = 0{,}2$ были получены следующие значения коэффициентов имиджа предприятия:

$$K_{\text{и}2014} = 0{,}2 \cdot 0{,}68 + (1 - 0{,}2) \cdot 0{,}34 = 0{,}408;$$

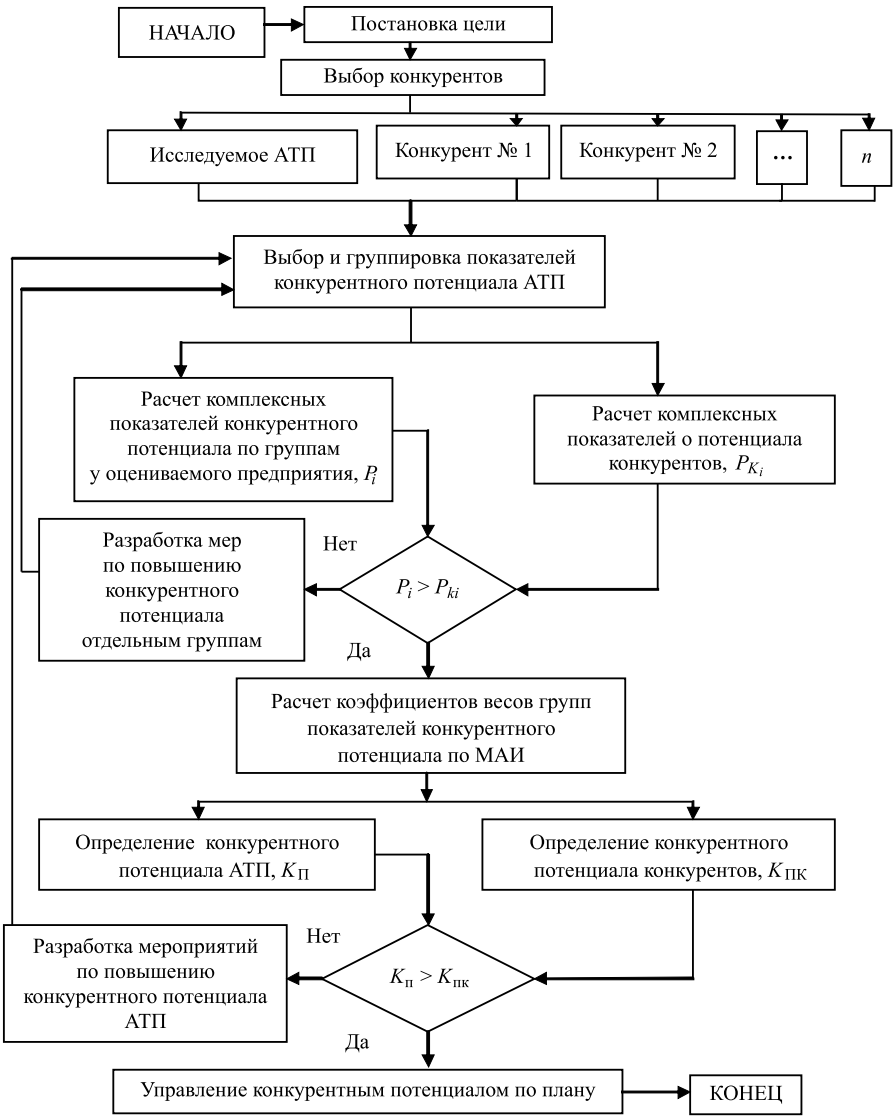
$$K_{\text{и}2015} = 0{,}2 \cdot 0{,}71 + (1 - 0{,}2) \cdot 0{,}32 = 0{,}398.$$

Анализ конкурентного потенциал ООО "ПЭК" показывает, что по всем шести группам групповые комплексные показатели, а следовательно и интегральный показатель за анализируемый период увеличивается. При этом растет доля предприятия в секторе перевозок пассажиров, заработная плата работников, объемы перевозок, коэффициент выпуска автобусов на линию, наблюдается обновление парка.

Положительная динамика обновления парка будет помогать предприятию упрочить рыночные позиции в будущем. Средний возраст парка подвижного состава, как правило, существенным образом отражается на результатах деятельности АТП.

На улучшение фондоотдачи, прежде всего, повлиял рост объема выручки, полученной вследствие роста объема перевозок пассажиров. Так, выручка за год выросла с 180,8 млн руб. до 246,1 млн руб., т. е. на 26 %. При этом увеличилась и чистая прибыль АТП. Если в 2014 г. ООО "ПЭК" имел убыток 34,6 млн руб., то в 2015 г. чистая прибыль составила 9,7 млн руб., что отразилось на улучшении показателей рентабельности АТП.

Необходимо отметить, что у предприятия есть и проблемные области деятельности. Так, в 2015 г. наблюдается увеличение текучести кадров, персонала среднего возраста, доли управленцев в общей численности. Также отмечается старение основных фондов производственно-технической базы. Следует отметить, что в 2015 г. имидж предприятия несколько снизился (тревожный фактор). Это объясняется тем, что на рынке пассажирских



Алгоритм управления конкурентным потенциалом АТП

транспортных услуг региона усилилась позиция основного конкурента — ГУП "Башавтотранс".

Оценка конкурентного потенциала предприятия позволяет объективно анализировать различные аспекты его деятельности, является основой для создания системы управления его уровнем. Выявляя свой конкурентный потенциал, предприятие устанавливает "узкие места" в своем хозяйстве и разрабатывает мероприятия по моделированию уровня потенциала до желаемых значений.

Предложенный метод оценки конкурентного потенциала предприятия принят за основу в модели управления уровнем конкурентного потенциала (рисунок). Алгоритм управления конкурентным потенциалом АТП содержит два этапа. На первом производится сравнение групповых показателей объекта управления и его конкурентов, по результатам которых выявляются проблемные области деятельности, разрабатываются меры по повышению комплексных показателей. На втором этапе конкуренты сравниваются по интегральным показателям конкурентного потенциала.

Предложенный метод измерения уровня конкурентного потенциала и алгоритм управления им могут быть использованы производителями как товаров, так и услуг различных отраслей экономики. Результаты оценки конкурентного потенциала предприятия могут приниматься за основу при оценке поставщиков и подрядчиков с целью выбора, определения победителей тендеров, конкурсов. По конкурентному потенциалу оценивается также инвестиционная привлекательность предприятия.

Объективность оценки конкурентного потенциала в разработанном методе, в отличие от известных, повышается также благодаря учету имиджа объекта исследования. Применение предлагаемого метода оценки и управления конкурентным потенциалом будет способствовать повышению конкурентных позиций АТП на рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фасхиев Х. А.** Системный подход к управлению уровнем конкурентоспособности предприятия // Маркетинг в России и за рубежом. — 2014. — № 5. — С. 55—66; № 6. — С. 63—72.
2. **Азоев Г. Л., Челенков А. П.** Конкурентные преимущества фирмы. — М.: Экономика, 2002.
3. **Бараничев В. П., Стрижов С. Г.** Анализ и оценка маркетингового потенциала предприятия // Маркетинг. — 2004. — № 3.
4. **Фасхиев Х. А.** Определение весомости показателей качества автомобилей и их компонентов // Грузовик. — 2008. — № 5. — С. 23—27.
5. **Фасхиев Х. А., Крахмалева А. В., Гарифов А. Г.** Оценка качества и конкурентоспособности комплектующих и запасных частей автомобилей // Вестник машиностроения. — 2015. — № 7. — С. 65—79.
6. **Фасхиев Х. А.** Как оценить и управлять качеством и конкурентоспособностью товаров и услуг // Маркетинг в России и за рубежом. — 2014. — № 3. — С. 67—81. № 4. — С. 72—84.
7. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.

УДК:355/359:001.89

А. Ю. Быков, НИИЦ СТ ЖДВ 3 ЦНИИ Минобороны России; г. Москва,
E-mail: andrei_18bykov@mail.ru.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ОПЕРАТОРОВ ПРИ СОЗДАНИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлены предложения по оптимизации рабочих мест операторов строительной и специальной техники с целью повышения эффективности их работы и обеспечения соответствующих эргономических требований к системе "человек — машина".

Ключевые слова: *оптимизация, рабочее место, энергоэффективность, строительная и специальная техника.*

The article presents suggestions for optimization of work places for operators of construction machinery with the aim of increasing the efficiency of their work and to ensure that adequate ergonomic requirements to the system "man — machine".

Keywords: *optimization, workplace, energy efficiency, construction and special equipment.*

Современные тенденции развития передовой строительной техники ведущих производителей — лидеров продаж на мировом рынке должны стоять в основе каждого перспективного отечественного предприятия с целью поддержания его конкурентоспособности.

Одним из факторов, определяющих показатели производительности и эффективности эксплуатации строительной и специальной техники (ССТ) является организация рабочего места оператора. Данная задача положена в основу научных исследований в области эргономического обеспечения техники на всех стадиях жизненного цикла.

Целью исследования является разработка предложений по внедрению современного эффективного оборудования на рабочих местах операторов строительной и специальной техники.

Первой задачей исследования является проведение анализа эргономической системы, состоящей из человека-оператора, машины, органов управления, внешней среды и соответствующих воздействий [1]. Правильное представление внутрисистемных связей и понимание внутренней организации системы, представленной на рис. 1, является наиболее важным.

Оптимизация условий обитания ССТ является одним из основополагающих критериев повышения эффективности системы "человек — машина" (ЧМ). Эффективность системы ЧМ может быть определена по формуле:

$$Э = \frac{ПК}{З} 100\ \%,$$

где Э — эффективность системы; П — производительность в единицах продукта системы; К — качество труда; З — затраты материальные, временные, энергетические и психические.

Очевидно, что повышение эффективности заключается в повышении производительности и качества труда при уменьшении соответствующих затрат. Таким образом, эффективность представ-

Рис. 1. Схема системы "человек — машина — среда"

Рис. 2. Общий вид кабины путевой машины ПРМ-РМ

ляется как целевая трехпараметрическая функция Э (П, К, З).

Оптимизация условий обитания также определяется комплексом факторов. Это совокупность анатомических, гигиенических, физиологических, психологических и психофизиологических особенностей человека, а также факторов среды обитания.

Для формирования предложений по оптимизации целесообразно представить существующее рабочее место оператора ССТ как помещение объекта. Для примера рассмотрим устройство кабины оператора железнодорожной путевой подъемно-рихтовочной машины ПРМ-РМ (рис. 2).

Изучение кабин путевых машин позволяет выделить следующие недостатки:

— низкая функциональная возможность кресла оператора;

— неэффективное расположение средств отображения информации (СОИ);

— отсутствие высокоэффективных средств освещения, отопления, кондиционирования;

— энергоемкие органы управления (ОУ), требующие при эксплуатации больших затрат оператором на выполнение механической работы.

Для формирования предложений по оптимизации условий кабины ССТ были изучены и проанализированные соответствующие передовые разработки и технологии, отвечающие критериям энергосбережения и эффективности.

Второй задачей исследования является представление наиболее перспективных разработок, которые могут быть использованы в кабинах ССТ.

Многофункциональное поворотное кресло оператора

Для ССТ целесообразным является использование кресел с пневматическими, механическими и магнитными подвесками [2]. Кресло также должно быть оснащено "умной" системой активного подавления вибрации до нулевого уровня, которая соединяется со спинкой разной высоты и ширины, системами вращения, подогрева, вентиляции и скольжения (рис. 3). В случае низкоамплитудных вибраций достаточно установки пассивной пневматической, торсионной или классической механической подвески.

В качестве опции может быть широкий ряд подлокотников и подголовников с множеством регулировок, а также корпуса и консоли под рычаги контроля и клавиши управления (джойстики), поворотные механизмы, механизмы гашения продольных и поперечных ударов (изоляторы).

Кресло оператора должно быть снабжено:

— поворотной кареткой, предназначенной для оптимального размещения кресла в ограниченном пространстве кабины (позволяет беспрепятственно поворачивать кресло вокруг оси на 180° с промежуточной фиксацией через 90°, а также осуществить откат кресла от пульта до 400 мм);

— платформой передвижной, предназначенной для оптимального размещения кресел в кабинах (обеспечивает дополнительное продольное перемещение кресла на расстояние до 360 мм). Конструкция платформы обеспечивает возможность быстрого покидания рабочего места оператором, а также создает благоприятные условия работы оператора в режиме "стоя";

— всесторонней обтяжкой чехлом, материал которого кроме эстетичного внешнего вида соответствует всем пожарным и санитарно-эпидемиологическим требованиям;

— регулируемой поясничной опорой;

— подвижным подголовником;

— регулируемой спинкой, обеспечивающей удобную боковую настройку спинной поддержки;

— пневматической подвеской с регулировкой по весу.

Рис. 3. Варианты исполнения кресла оператора

Бортовая система контроля и диагностики

Бортовая система контроля, мониторинга и управления (рис. 4) предназначена для организации автоматизированного рабочего места оператора ССТ в соответствии с современными требованиями, для ведения непрерывного контроля за агрегатами, обеспечения надлежащих условий труда, улучшения эргономики пульта машиниста, реализации человеко-машинного интерфейса, своевременного принятия решений и действий по предотвращению аварийно-опасных ситуаций в процессе работы техники [3].

Предложенная система обеспечивает:

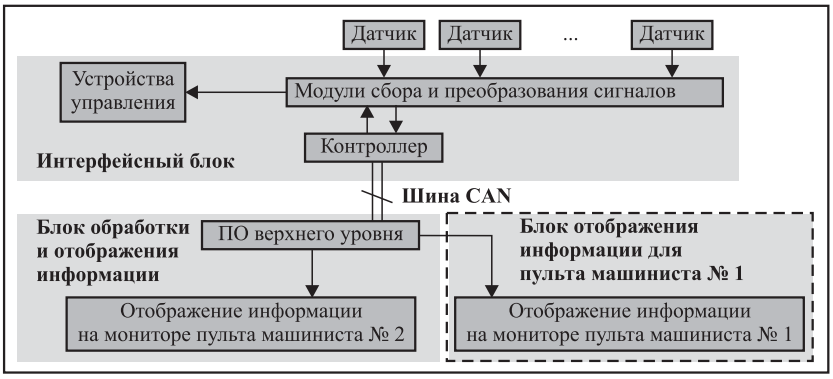
— автоматизированный комплексный контроль текущих параметров с выдачей сообщений о неисправности узлов и агрегатов или выходе контролируемых параметров за допуски, а также вывод текущих параметров и сообщений на экран блока обработки и отображения информации в удобном для пользователя виде;

— ведение журнала состояния объекта и системных событий за требуемый срок в зашифрованном виде с возможностью последующего просмотра;

— автоматическое управление работой;

— легкую модифицируемость и масштабируемость системы.

Данная система диагностики позволяет улучшить эргономические характеристики пульта управления ССТ. Вместо большого количества стрелочных манометров и прочих приборов на пульте будет присутствовать лишь 10-дюймовый дисплей, на котором отображается более 60 параметров. Переключение между технологическими экранами осуществляется с помощью сенсорных кнопок. Бортовая система диагностики также улучшает организацию рабочего места оператора: машинист может наблюдать положение всех рабочих органов и параметры агрегатов машины не покидая рабочего места.



а)

б)

Рис. 4. Бортовая система контроля и диагностики:

а — структурная схема системы мониторинга параметров; *б* — вариант исполнения блока обработки и отображения информации

Электрогидравлические системы управления

Применение электрогидравлических систем управления (рис. 5) оборудованием, в которых оператор управляет электронными органами управления, сигналы от которых передаются на гидрораспределители с электронным управлением, позволяет улучшить следующие параметры:

— удобство управления (требуется меньшее усилие для переключения);

— точность управления (электронная обработка положения рукоятки управления позволяет с высокой точностью определять команды оператора);

— комфорт работы оператора (при применении электронного управления ОУ не имеют прямого механического контакта с рабочими органами, таким образом, вибрация от рабочих органов не передается на ОУ, что положительно сказывается на условиях работы оператора);

— компоновка органов управления (ОУ с несколькими элементами могут быть компактно и логично скомпонованы на одном устройстве управления, что позволит оператору быстрее производить необходимые действия);

Рис. 5. Примеры компоновки органов управления

— свободное пространство в кабине (кабель занимает значительно меньше места, чем несколько гидравлических рукавов);

— автоматизация (применение гидрораспределителей с электронным управлением позволяет использовать электронные системы управления для выполнения некоторых действий без участия оператора).

Вывод

В результате выполненного анализа перспективных разработок в области элементов рабочих мест операторов современной строительной и специальной техники сформулированы предложения по использованию наиболее перспективных решений при создании и модернизации строительной техники отечественного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чумакова Е. М.** Основы эргономики. Учебно-методический комплекс дисциплины. — М.: МГУ ТУ, 2013. — 168 с.
2. **Сиденье машиниста** стройтехники [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.driverseat.ru.
3. **Фокин С. А., Васнев К. А.** Мониторинг параметров агрегатов железнодорожных путевых машин // Современные технологии автоматизации. — 2015. — № 1. — С. 28—31.

JCB — спонсор

Производитель дорожно-строительной спецтехники выступает спонсором "Уильямс" — команды гонки "Формулы-1", четвертый этап которой прошел в Сочи.

В рамках соглашения о сотрудничестве в гонках, проходящих по всему миру, на болиде команды присутствуют элементы фирменного оформления британского производителя спецтехники. В частности, логотип JCB нанесен на шасси и заднее крыло автомобиля Mercedes FW40. Кроме того, символика JCB представлена на костюмах и шлемах пилотов "Формулы-1" Фелипе Массы и Лэнса Стролла, а начиная с Гран-при Великобритании и на протяжении остальных этапов чемпионата она будет нанесена на форму всех механиков и гоночных инженеров команды.

По словам председателя совета директоров JCB лорда Бамфорда, компания часто объединяет инженерные знания с одними из лучших автомобильных технологий, что делает спецтехнику JCB интуитивно понятной в эксплуатации и очень эффективной с точки зрения расхода топлива.

"Проектирование и разработка инновационных продуктов лежат в основе того, что делает JCB, — говорит Энтони Бамфорд. — Наше партнерство с командой "Уильямс" базируется на этой платформе, а также на длительных связях нашей компании с автоспортом".

Пресс-служба компании ДжейСиБи

УДК 519.2, 625.7/.8

В. В. Столяров, д-р техн. наук, профессор, **Н. В. Щеголева,** канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.", Саратов,
А. В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", Пермь
E-mail: soni.81@mail.ru

НЕОБХОДИМОСТЬ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМ РИСКОМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЧИСЛА ПОГИБШИХ В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ

Дорожно-транспортные происшествия являются одной из главных причин смертности, травматизма и инвалидности во всем мире. Реализации транспортной стратегии препятствуют риски, и при этом запланированные результаты могут быть не достигнуты. К таким рискам можно отнести макроэкономические, геополитические, операционные, социальные, техногенные, экологические и транспортные риски. Транспортные риски характеризуются определенными особенностями, которые связаны, с одной стороны, спецификой, присущей транспортному процессу, а с другой — качеством строительства геометрических элементов автомобильных дорог. Важно проектировать, строить и реконструировать все геометрические элементы автомобильных дорог с учетом оценки риска. Такой подход позволит защитить жизни и здоровье граждан, пользователей автомобильных дорог. В данной работе показан пример применения оценки риска на съезде с автомобильной дороги.

Ключевые слова: *риск, транспортные риски, оценка риска, управление рисками, превентивные методы, репрессивные методы.*

Road traffic accidents are a leading cause of death, injury and disability around the world. The implementation of the transport strategy entails risks that may impede the achievement of the planned results. These risks are macroeconomic, geopolitical, operational, social, technological, environmental and transportation risks. Transport risks are characterized by certain features, which are connected, on the one hand, the specificity inherent in the transport process, and on the other - the quality of construction of geometric elements of road. It is important to design, build and reconstruct all the geometric elements of road in view of the risk assessment. Such an approach would protect the lives and health of citizens, users of highways. In this paper, an example of the application of risk assessment at the congress of the road.

Keywords: *risk, transportation risk, risk assessment, risk management, preventive methods, repressive methods.*

Проблема безопасности на автомобильных дорогах становится все более актуальной, так как дорожно-транспортные происшествия (ДТП) являются одной из главных причин смертности, травматизма и инвалидности во всем мире.

По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в результате аварий на автомобильных дорогах погибают 1,3 млн человек, а травмы получают от 20 до 50 млн человек. Дорожно-транспортный травматизм входит в число трех главных причин смертности людей в возрасте от 5 до 44 лет [1].

Каждый человек сталкивается с риском постоянно и не замечает его, так как автоматически, на подсознательном уровне оценивает безопасность того или иного события. Иногда нет возможности избежать риска, но есть способ его минимизировать, например, переходя автомобильную дорогу по правилам (на пешеходном переходе, по наземным или подземным переходам). Процесс минимизации потерь, которые может понести физическое или юридическое лицо из-за неконтролируемых событий, называется управлением риском.

В зависимости от основной причины возникновения рисков они делятся на следующие категории: природно-естественные, экологические, политические, коммерческие, транспортные риски.

Подробнее рассмотрим транспортные риски и их возникновение на автомобильной дороге.

Транспортные риски — это риски, связанные с перевозками грузов автомобильным, морским, речным, железнодорожным, воздушным транспортом.

Эффективность организации управления риском во многом определяется классификацией риска.

Под **классификацией риска** следует понимать распределение риска на конкретные группы по определенным признакам для достижения поставленных целей.

Научно обоснованная классификация риска позволяет четко определить место каждого риска в общей системе. Она создает возможности для эффективного применения соответствующих методов, приемов управления риском. Каждому риску соответствует своя система приемов управления риском.

А можно ли бороться с риском?

Совокупность методов борьбы с различного рода рисками принято подразделять на две группы: репрессивные, превентивные.

Репрессивные методы управления риском, в основном, направлены на подавление уже происходящего стихийного бедствия (например, борьба с наводнением) или какими-либо другими ущербами.

Под **превентивными** методами понимается проведение мероприятий, направленных на предупреждение непредвиденных разрушительных событий с целью снижения вероятности и величины ущерба (например, применение геосинтетических материалов при строительстве дорожной одежды [2]). Превентивные мероприятия основываются на контроле над риском как методе минимизации убытков.

В процессе контроля над риском используются следующие приемы.

1. Уклонение от риска — осуществление попытки полностью устранить возможность данного вида убытков. За редким исключением, уклонение от риска чрезвычайно затруднено.

2. Предотвращение убытков — можно попытаться уменьшить (но не полностью) конкретные убытки (например, повысить качество строительства кривой в плане, уменьшив среднее квадратическое отклонение радиуса при реконструкции автомобильной дороги).

3. Минимизация потерь — путем соблюдения всех правил, которые установлены законодательно правительством. Так, можно избежать каких-либо штрафных санкций в случае какого-то инцидента, при условии проектирования геометрических параметров автомобильных дорог с учетом допустимого риска, равного $1 \cdot 10^{-4}$.

4. Передача контроля за риском — способ избежания риска вследствие передачи другому лицу или группе лиц: а — реальной собственности или деятельности; б — ответственности за риск.

Поскольку не допустить ущерб всегда выгоднее, чем возмещать его, общество заинтересовано, прежде всего, в деятельности по предупреждению риска.

В Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю. А. профессором Столяровым В. В. разработана методика, позволяющая в зависимости от величины параметра опасного геометрического элемента дороги (А) и качества его исполнения (σ_A) оценить риск [3—5].

В качестве примера управления риском в дорожном строительстве исследуется участок улично-дорожной сети в пригороде Москвы. Автомобильная дорога относится к классу "скоростная дорога" (табл. 1).

Основные параметры элементов поперечного профиля проезжей части и земляного полотна автомобильных дорог следует принимать по табл. 2.

Оценка опасности риска выполняется на повороте вправо при движении от г. Москвы. Данный поворот был идентифицирован по следующим параметрам: категория дороги IБ, расчетная скорость — 120 км/ч, радиус кривизны — 8 м, ширина съезда — 6 м, интенсивность движения расчетная — 770 авт/час.

При анализе документации выделяем следующий транспортный риск при обследуемых дорожных условия: риск потери устойчивости на радиусе закругления проезжей части улиц и дорог по кромке тротуара.

Таблица 1

Техническая классификация автомобильных дорог общего пользования*

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Общее количество полос движения	Ширина полосы движения, м	Центральная разделительная полоса	Пересечения с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками	Пересечения с железными дорогами и трамвайными путями	Доступ на дорогу с примыкания в одном уровне
Скоростная дорога	IБ	4 и более	3,75	Обязательная	В разных уровнях		Допускается без пересечения прямого направления

* ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. — Введ. 2006-04-30. —М.: Стандартинформ, 2006. —7 с.

Таблица 2

Параметры элементов поперечного профиля проезжей части и земляного полотна автомобильных дорог*

Параметры элементов дорог	Скоростная дорога IБ
Общее число полос движения, шт	4 и более
Ширина полосы движения, м	3,75
Ширина обочины, м	3,75
Ширина краевой полосы у обочины, м	0,75
Ширина укрепленной части обочины, м	2,5
Наименьшая ширина центральной разделительной полосы без дорожных ограждений, м	6,0
Наименьшая ширина центральной разделительной полосы с ограждением по оси дороги, м	2 м + ширина ограждения
Ширина краевой полосы безопасности у разделительной полосы, м	1,0

* ГОСТ Р 52399-2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. — Введ. 2006-05-01. — М.: Стандартинформ, 2006. — 11 с.

Параметры: радиус кривой, коэффициент сцепления и продольный уклон оказывают влияние на вероятность потери устойчивости автомобиля на радиусе закругления проезжей части улиц и дорог, связанную с заносом или опрокидыванием автомобиля.

Данная процедура призвана определить и уменьшить до допустимого риска вероятность возникновения ДТП по причине несовершенства дорожных условий (параметров закругления).

Для этого необходимы исходные величины: проектная величина радиуса закругления ($R_{пр}$) проезжей части улиц и дорог 8 м; скорость движения автомобиля (V): 15, 20, 25, 30 км/ч на участке дороги; величина максимального продольного уклона ($i_т$) на закруглении проезжей части дороги; тип и состояние покрытия, принимаем: сухое чистое; уклон виража ($i_в$). Расчеты представлены в табл. 3.

Справедливым будет следующий вывод: если скорость при движении на повороте будет 30, 25, 20 км/ч, то риски слишком высоки.

Водители, двигающиеся по прямому направлению, не реализуют безопасное торможение до лидирующего автомобиля, который снизил скорость до 15 км/ч (до приемлемого риска) для поворота на примыкание.

Необходимо увеличить радиус закругления проезжей части дороги до безопасного и запроектировать переходно-скоростную полосу для ступенчатого снижения скорости движения автомобиля, уходящего на поворот. Данный подход оценки риска позволит защитить жизни и здоровье граждан, их имущество, государственное имущество, перевозимое по автомобильным дорогам.

Таблица 3

Риск потери устойчивости

Скорость, км/ч	Риск
15	0,074
20	0,114
25	0,376
30	0,779

Эксперты Всемирной организации здравоохранения дают неутешительные прогнозы на будущее: выдвигают предположение, что к 2030 г. дорожно-транспортный травматизм станет пятой главной причиной смертности во всем мире, если в срочном порядке не будут приняты меры, и приравнивают проблему обеспечения безопасности на дорогах к угрозе глобальной эпидемии.

Поэтому важно управлять риском при принятии решений для обеспечения безопасности и снижения дорожно-транспортного травматизма [6—8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гусев В. А., Щеголева Н. В.** Усилия международных организаций для решения проблемы безопасности дорожного движения // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. — Пермь: ПНИПУ, 2013.— Т. 2. — С. 124—132.
2. **Кокодеева Н. Е.** Вероятностная оценка качества дорожной конструкции с применением геосинтетических материалов. Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2016. — № 3 (17). — С. 8. URL: http://trts.esrae.ru/36-184 (дата обращения 01.07.2016).
3. **Столяров В. В.** Теория риска в судебно-технической экспертизе дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов (+ABS) — Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. — 344 с.
4. **Щеголева Н. В.** Снижение риска аварийности на автомобильных дорогах после реконструкции // Новые идеи нового века — 2014: материалы Четырнадцатой Междунар. науч. конф. в 3 т. Тихоокеан. гос. ун-т.— Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2014. — Т. 3. С. 419—423.
5. **Столяров В. В., Бажанов А. П.** Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: монография — Пенза: ПГУАС. 2014. — 212 с.
6. **Перспективы развития** инновационной деятельности в дорожном хозяйстве / А. В. Кочетков, Л. В. Янковский // Инновационный транспорт. — 2014. — № 1 (11). — С. 42—45.
7. **Организационно-экономический** механизм инновационной деятельности дорожного хозяйства / С. П.Аржанухина, А. А. Сухов, А. В. Кочетков, Л. В. Янковский // Инновационный Вестник Регион. 2012. № 4. С. 40—45.
8. **Проектирование** структуры информационного обеспечения системы менеджмента качества дорожного хозяйства / А. В. Кочетков, В. Ю. Гладков, Д. М. Немчинов // Интернет-журнал "Науковедение". 2013. № 3 (16). С. 72.

УДК 537.531

П. А. Николаев, д-р техн. наук, ПАО "АВТОВАЗ", г. Тольятти,
В. Н. Козловский, д-р техн. наук, СамГТУ, г. Самара, **А. С. Подгорний,** аспирант, ПВГУС, г. Тольятти
E-mail: 9vfhnf@inbox.ru

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ТРЕБОВАНИЯМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ К ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В статье рассматриваются вопросы оценки соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям. Предложен подход, позволяющий производить оценку по результатам тестирования малой выборки.

Ключевые слова: *автомобиль, электромагнитное воздействие, помехоустойчивость, испытания.*

The article deals with the conformity assessment requirements of the car noise immunity to external electromagnetic influences. An approach that allows for assessment of the results of testing a small sample.

Keywords: *car, electromagnetic interference, interference immunity tests.*

Автомобильный транспорт является самым распространенным и эксплуатируемым. В условиях развития рынка автомобиль, чтобы быть конкурентоспособным, должен, помимо стандартных требуемых эксплуатационных показателей, быть доступным, комфортным, а также надежным и безопасным [5].

Вопросы безопасности являются одними из самых важных. Существует множество различных законодательно оформленных международных и национальных стандартов. В последнее время большую актуальность приобретает направление, связанное с электромагнитной безопасностью автомобилей. Сейчас наиболее важны вопросы помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям. Причиной тому является усложнение бортового электрооборудования и внешней электромагнитной обстановки. Ненадлежащее внимание к вопросам помехоустойчивости автомобилей в эксплуатации из-за потери управляемости может привести к серьезным последствиям экономического и социального характера [4].

Сейчас все ведущие автопроизводители тестируют свою продукцию на помехоустойчивость. В основе испытаний лежит международный стандарт [1]. Согласно ему, автомобиль должен быть работоспособен при воздействии внешнего электромагнитного излучения напряженностью 30 В/м в диапазоне частот от 20 МГц до 2 ГГц. Однако на практике в условиях массового производства невозможно проверить все автомобили. Это связано с длительностью процесса испытаний и с большими экономическими затратами. Поэтому проверяется небольшая партия.

Проблема заключается в том, что отсутствуют критерии оценки соответствия требованиям помехоустойчивости для больших партий серийно выпускаемых автомобилей. Существует ГОСТ Р 51320—99 [2], область применения которого относится к техническим средствам, являющимся источниками радиопомех. Данный нормативный документ определяет следующие правила выборки. При периодических и типовых испытаниях отбирается не менее пяти образцов. При сертификации по решению органов допускается предоставлять три образца. При испытаниях опытных образцов отбирается 2 %, но не менее трех образцов, если изготовлено более трех. И все образцы, если изготовлено три и менее. В ГОСТ Р 51320—99 оценка соответствия продукции производится на основе биноминального распределения (таблица). Суть сводится к тому, что соответствие нормам технического средства будет установлено, если количество технических средств, не соответствующих требованиям, не может быть больше *C* при выборке *N*.

Критерии соответствия нормам тестируемых образцов

N	7	14	20	26	32
C	0	1	2	3	4

На практике при оценке помехоустойчивости большой партии автомобилей одной модели и одинаковой комплектации возможно провести испытания максимум трех образцов. Если какой-нибудь автомобиль из тестируемой выборки не соответствует требованиям, то еще можно сделать однозначные выводы и принять меры по повышению качества продукции. Однако если все испытуемые автомобили одной модели и одинаковой комплектации соответствуют нормам, то эти результаты не совсем корректно распространять на всю большую партию вследствие малого объема выборки. Здесь требуются оценки, основанные на вероятностном подходе. При таком подходе определяется вероятность соответствия требованиям любого автомобиля в большой партии. Для этого необходима соответствующая методика расчета по результатам испытаний малой выборки.

Опыт показывает, что характеристики помехоустойчивости автомобилей одной модели и одинаковой комплектации отличаются друг от друга. Это связано с нестабильностью параметров испытательных тестов и разбросом конструкторско-технологических параметров автомобилей.

К первым относятся амплитуда электромагнитного воздействия и позиционирование тестируемого автомобиля по отношению к полеобразующей системе. Любая реализация электромагнитного поля будет отличаться от других. Вот почему все автомобили подвергаются различающимся по амплитуде воздействиям. Допускается не более 6 % отклонения от номинального значения. Такая нестабильность дает на одинаковых тестируемых частотах соответствующую погрешность при определении уровня помехоустойчивости. Фактор позиционирования автомобиля по отношению к полеобразующей системе переделяет амплитуды возбуждаемых колебаний во внутреннем пространстве кузова и соответственно уровень наводимых в электрических цепях помех. В любом случае установка объекта испытаний относительно некоторой заданной контрольной точки происходит с некоторой погрешностью, которая не должна превышать 3 см.

К конструкторско-технологическим параметрам, влияющим на характеристики помехоустойчивости, относятся:

— геометрические размеры щелей и отверстий кузова;

— геометрические параметры внутреннего пространства кузова;

— конструкция жгутов проводов и их отклонение от заданной трассы;

— неодинаковые отклонения расположений блоков электрооборудования;

— разброс электрических параметров блоков электрооборудования.

Геометрические размеры щелей и отверстий кузова являются приемными антеннами, имеющими определенные частотные характеристики. Через них во внутреннее пространство автомобиля проникает электромагнитное излучение. Само же внутреннее пространство с позиции электродинамики представляет собой сложный электромагнитный резонатор [3]. Эти два фактора определяют спектральную характеристику электромагнитного поля в автомобиле. Поэтому их разброс относительно номинального значения влияет на амплитудно-частотное распределение наводимых помех.

Провода в автомобиле являются основными элементами, где происходит преобразование электромагнитного излучения в наведенные электрические помехи. Они выступают в роли приемных антенн. Современные технологии изготовления автомобильных жгутов не позволяют обеспечить полную повторяемость образцов. Если рассмотреть сечение двух однотипных жгутов в произвольном месте, то координатное месторасположение одного и того же провода будет отличаться (рис. 1, *б*). Это сказывается на том, что на один и тот же провод в жгутах разных автомобилей будут наводиться разные по амплитуде помехи. Помимо этого, отклонения, даже в пределах допуска на укладку жгута проводов по его трассе, определяют расхождения электрических распределенных параметров каждой линии передач. Что в свою очередь на высоких частотах влияет на спектральную характеристику наведенных помех и их затухание при распространении к нагрузке. Это наглядно демонстрирует эксперимент. На рис. 1, *в* видно, что после частоты 250 МГц у проводов разных однотипных жгутов характеристики затухания отличаются. Локально разница достигает 20 дБ.

Вследствие различающихся от номиналов отклонений расположений, хоть и в пределах допусков на посадку, блоки электрооборудования в разных автомобилях подвергаются неодинаковому по амплитуде электромагнитному воздействию. Это происходит потому, что внутреннее пространство кузова является сложным электромагнитным резонатором и высокочастотное электромагнитное поле в нем сильно неоднородно. Разница по посадкам в 5 мм может определить разницу до 2 % по интенсивности электромагнитного воздействия.

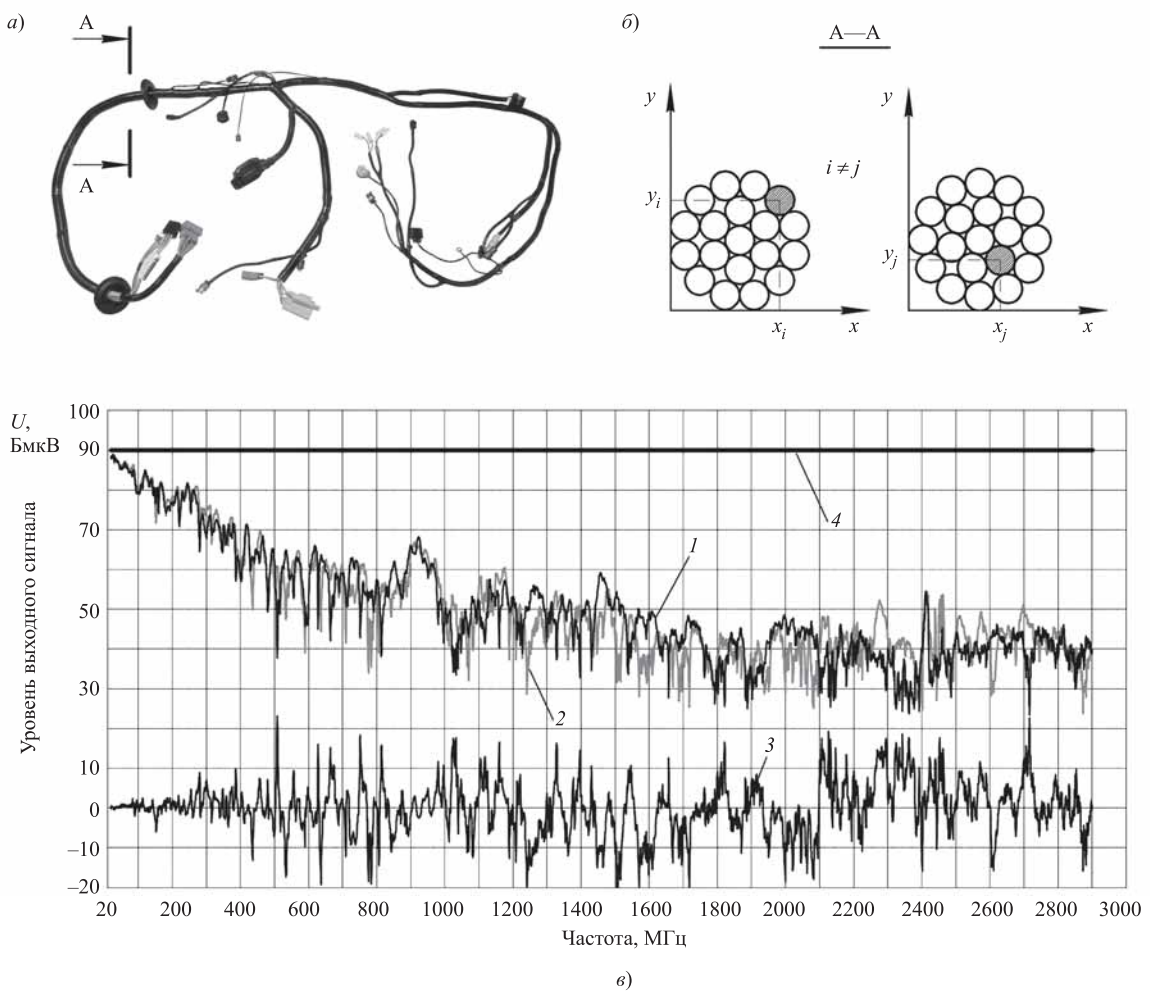


Рис. 1. Исследование вносимого затухания двухпроводной линии в составе жгута длиной 3 м (жгуты одной партии):

а — жгут проводов; *б* — расположение одного и того же провода в разных жгутах; *в* — результаты измерений; *1* — двухпроводная линия № 1; *2* — двухпроводная линия № 2; *3* — разница характеристик 1 и 2; *4* — входной уровень сигнала с генератора

Разброс электрических параметров блоков электрооборудования определяет уровень затухания распространяющихся в их цепях помех.

Совокупность приведенных факторов и определяет конкретную характеристику помехоустойчивости. Поэтому они различаются даже у одинаковых комплектаций одной модели. Наглядный пример приведен на рис. 2. Условия эксперимента: уровень максимального электромагнитного воздействия: 100 В/м; диапазон воздействующих частот: 100 — 1000 МГц; шаг перестройки по частоте: логарифмический 2 %; тип воздействующего сигнала: гармонический немодулированный. Характер нарушения работоспособности: прекращение работы двигателя.

Все перечисленные факторы являются случайными. Поэтому на основании центральной предельной теоремы А. Н. Ляпунова закон распределения порога помехоустойчивости является нормальным. Для расчета вероятности соответствия требованиям любого автомобиля в большой партии требуется найти первые два момента данного закона.

Рассмотренные факторы позволяют не учитывать характер частотного распределения, а оперировать только минимальным значением помехоустойчивости каждой характеристики. Тогда по результатам проведенных испытаний у каждой характеристики находится минимум.

Так как выборка тестируемых автомобилей мала — три, в редких случаях четыре автомобиля, то по результатам испытаний математическое ожидание и дисперсия порога помехоустойчивости

неизвестны. В этом случае определяются их эффективные оценки:

$$\overline{E} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i\,,\ S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(E_i - \overline{E}\right)^2, \qquad (1)$$

где E_i и S^2 — эффективные оценки математического ожидания и дисперсии; E_i — минимальный порог помехоустойчивости i-го исследуемого автомобиля; n — количество испытанных образцов.

На основании полученных данных производятся интервальные оценки для первого и второго моментов случайных величин. Для известного нормального распределения порога помехоустойчивости интервальная оценка математического ожидания производится по распределению Стьюдента, так как оно не зависит от математического ожидания и дисперсии. В этом случае надежность того, что математическое ожидание попадет в заданный интервал, будет равна:

$$P\left(\overline{E} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}} < m_E < \overline{E} + t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha\,, \quad (2)$$

где t_α — коэффициент Стьюдента для заданной α находится по таблицам.

К решению задачи наиболее целесообразно подходить с позиции наиболее худшего варианта. В этом случае математическому ожиданию присваивается наименьшая полученная интервальная граница:

$$m_E = \overline{E} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}}\,. \quad (3)$$

Интервальные оценки дисперсии при неизвестном математическом ожидании находятся с применением распределения χ^2.

В этом случае надежность того, что среднеквадратическое отклонение попадет в заданный интервал, будет равна:

$$P\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\overline{\chi}_\alpha^2}} < \sigma_E < \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}\right) = 1 - \alpha\,, \quad (4)$$

где χ^2 — коэффициенты распределения, которые для заданной α находится по таблицам.

В этом случае доверительный интервал, в который с заданной вероятностью $1 - \alpha$ попадает среднеквадратическое отклонение, равен:

$$\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\overline{\chi}_\alpha^2}} < \sigma_E < \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}\,. \quad (5)$$

С позиции наиболее худшего варианта среднеквадратическому отклонению присваивается наибольшая интервальная граница, т. е. это значение берется для наибольшего рассеяния случайной величины. Тогда:

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}\,. \qquad (6)$$

Параметр $\underline{\chi}_\alpha^2$ находится по таблицам для $k = n—1$и $p = 1—\alpha/2$.

Определив числовые характеристики нормального распределения для наиболее худшего варианта, вычисляется вероятность соответствия большой партии автомобилей одной модели и одинаковой комплектации по малой выборке:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}}\int_{E_{пр}}^{\infty} e^{-\frac{\left[E-\left(\overline{E}-t_\alpha\frac{S}{\sqrt{n}}\right)\right]^2}{\left[\frac{2(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}\right]}}\,dE, \quad (7)$$

где $E_{пр}$ — предельно допустимый порог помехоустойчивости.

Как правило, $E_{пр}$ берется из нормативных документов. В международных правилах R10-05 [1] он составляет 30 В/м.

Результаты обработки экспериментов, приведенных на рис. 2, дают следующие значения.

Минимальные пороги помехоустойчивости:

— автомобиль № 1: E = 54 В/м на частоте 200 МГц;

— автомобиль № 2: E = 60 В/м на частоте 150 МГц;

— автомобиль № 3: E = 63 В/м на частоте 170 МГц.

Эффективная оценка $\overline{E}$ = 59 В/м.

Значение коэффициента Стьюдента для P = 0,8: t_α = 1,886.

Математическое ожидание при надежности оценки 0,8: m_E = 52,88.

Значение коэффициента распределения χ^2 для P = 0,8: $\underline{\chi}_\alpha^2$ = 0,21.

Среднеквадратическое отклонение при надежности оценки 0,8: σ_E = 14,14.

На основании полученных данных вероятность соответствия большой партии автомобилей одной модели и одинаковой комплектации при $E_{пр}$ = 30 В/м равна 0,947.

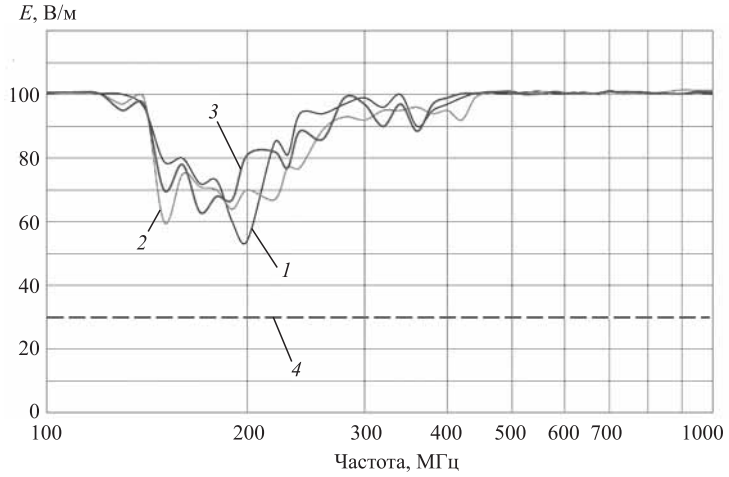


Рис. 2. Характеристики помехоустойчивости трех АТС одной модели одинаковых комплектаций (прекращение работы двигателя):

1 — автомобиль № 1; *2* — автомобиль № 2; *3* — автомобиль № 3; *4* — предельно допустимый уровень

Из результатов расчетов для практических испытаний можно сделать следующий вывод. Если на испытания предоставляется только один автомобиль и его минимальный порог помехоустойчивости более чем в два раза превышает предельно допустимый порог помехоустойчивости, то с высокой вероятностью можно дать заключение о соответствии нормам всей партии автомобилей одной модели и одинаковой комплектации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Правила № 10.** Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости / Добавление 9. — Пересмотр 5. — ЕЭК ООН, 2014.
2. **ГОСТ Р 51320—99.** Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи индустриальные. Методы испытаний технических средств — источников индустриальных радиопомех. Введ. 01.01.2001 — М.: Изд-во стандартов, 1999. — 39 с.
3. **Николаев П. А., Кечиев Л. Н.** Электромагнитная совместимость автотранспортных средств / Под ред. Л. Н. Кечиева. — М.: Грифон, 2015. — 424 с. — (Библиотека ЭМС).
4. **Козловский В. Н., Дебелов В. В.** Электротехнический комплекс управления двигателем легкового автомобиля: монография. — Самара: АНО "Издательство СНЦ", 2015. — 160 с.
5. **Козловский В. Н., Афиногентова Н. В.** Новые технологии оценки конкурентоспособности автомобилей в эксплуатации: монография. — Самара: АНО "Издательство СНЦ", 2015. — 158 с.

Мини-погрузчики ЧЕТРА для коммунальных служб Омска

Технологический парк Управления дорожного хозяйства и благоустройства Омска пополнился универсальным мини-погрузчиком ЧЕТРА МКСМ 1200А-1. Поставку техники осуществил официальный дилер ЧЕТРА — "КомплектСнаб".

Новинка 2017 г. — мини-погрузчик ЧЕТРА МКСМ 1200А-1 с бортовым поворотом и набором навесного оборудования — будет использоваться для уборки дорог, сбора пыли и песка. ПОставка прошла в рамках обновления парка техники Управления дорожного хозяйства и благоустройства Омска под слоганом "Сделаем чистым любимый город Омск!".

Намомним, что мини-погрузчики ЧЕТРА МКСМ серии А выпускаются с 2012 г. и отлично зарекомендовали себя у коммунальных служб. Конструктивной особенностью машин МКСМ являются компактные размеры и "бортовой поворот", обеспечивающий высокую маневренность машины. При этом малые размеры не снижают производительности спецтехники: мини-погрузчик ЧЕТРА МКСМ 1200А-1 имеет грузоподъемность 1200 кг.

Новые технические решения погрузчика ЧЕТРА МКСМ 1200А-1 применены в конструкциях рамы, кабины, стрелы, что повышает потребительские свойства машины.

Кабина собственной разработки обеспечивает комфортную работу оператора — увеличена обзорность, предусмотрена установка кондиционера. На машинах установлена гидростатическая трансмиссия, позволяющая бесступенчатое регулирование скорости машины в диапазоне скоростей 0,2—14 км/ч.

По желанию заказчика МКСМ 1200А-1 комплектуются разным сменным рабочим оборудованием: ковшом основным и карьерным, отвалом, грузовыми вилами, позволяющими работать в том числе с европоддонами, снегоочистителем и щеткой дорожной. Сохраняя преемтственность модельного ряда, машины МКСМ 1200 могут использовать навесное оборудование и мини-погрузчика МКСМ 800.

Пресс-служба компании "ЧЕТРА"

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *И. Е. Назарова*
Сдано в набор 22.05.2017. Подписано в печать 18.08.2017. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**