

ISSN 2071-7296

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)»

ВЕСТНИК СибАДИ

Выпуск 3 (31)

Омск
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

<i>Учредители:</i>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»
<i>Свидетельство о регистрации</i>	ПИ № ФС77-50593 от 11 июля 2012 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия.

Вестник СибАДИ : Научный рецензируемый журнал. – Омск: ФГБОУ ВПО «СибАДИ». - № 3 (31) . – 2013. – 142.

Научный рецензируемый журнал «**Вестник СибАДИ**» входит в **перечень ведущих периодических изданий рекомендованных ВАК** решением президиума ВАК от 25.02.2011 г. С 2009 года представлен в Научной Электронной Библиотеке elibrary.ru и включен в **Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)**. **Подписной индекс 66000** в каталоге агентства «РОСПЕЧАТЬ»

Редакционная коллегия осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат

<p><i>Редакционная коллегия:</i> Главный редактор – Кирничный В. Ю. д-р экон. наук, проф. ФГБОУ ВПО "СибАДИ"; Зам. главного редактора – Бирюков В. В. д-р экон. наук, проф. ФГБОУ ВПО "СибАДИ"; Исполнительный редактор – Архипенко М. Ю. канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО "СибАДИ"; Выпускающий редактор – Юренко Т. В.</p> <p><i>Члены редакционной коллегии:</i> Витвицкий Е. Е. д-р техн. наук, доц. Волков В. Я. д-р техн. наук, проф. Галдин Н. С. д-р техн. наук, проф. Епифанцев Б. Н. д-р техн. наук, проф. Жигadlo А. П. д-р пед. наук, доц. Кадисов Г.М. д-р техн. наук, проф. Матвеев С. А. д-р техн. наук, проф. Мещеряков В. А. д-р техн. наук, доц. Мочалин С.М. д-р техн. наук, доц. Плосконосова В. П. д-р филос. наук, проф. Пономаренко Ю.Е. д-р техн. наук, доц. Прокопец В.С. д-р техн. наук, проф. Сиротюк В. В. д-р техн. наук, проф. Смирнов А. В. д-р техн. наук, проф. Хаирова С. М. д-р экон. наук, доц. Щербаков В. С. д-р техн. наук, проф.</p> <p><i>Международный редакционный совет журнала:</i> Винников Ю. Л. д-р техн. наук, проф., член Украинского общества механики грунтов, геотехники и фундаментостроения, член ISSMGE, действительному член Академии строительства Украины (Украина) Жусупбеков А. Ж. президент Казахстанской геотехнической ассоциации, директор геотехнического института при ЕНУ им Л.Н. Гумилева, д-р техн. наук., проф., член ISSMGE. (Казахстан) Лим Донг Ох д-р инженерных наук, проф. Президент Университета Джунгбу (Южная Корея) Лис Виктор канд.техн.наук., инженер – конструктор специальных кранов фирмы Либхерр – верк Биберах отдела ГмбХ (Германия) Подшивалов В. П. д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерной геодезии Белорусского национального технического университета (Белоруссия) Хмара Л. А., д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Строительные и дорожные машины» (Украина)</p>	<p><i>Editorial board:</i> Kirnichny V. Doctor of Economical Science, Professor SibADI, Editor-in-chief Birukov V. Doctor of Economical Science, Professor SibADI, Deputy editor-in-chief Arkhipenko M. Candidate of Technical Science, SibADI, Executive Editor Yurenko T. Publishing Editor</p> <p><i>Members of editorial board:</i> Vitvitsky E. Doctor of Technical Science Docent Volkov V. Doctor of Technical Science, Professor Galdin N. Doctor of Technical Science, Professor Epifantzev B. Doctor of Technical Science, Professor Jigadlo A. Doctor of Pedagogical Science, Professor Kadisov G. Doctor of Technical Science, Professor Matveev S. Doctor of Technical Science, Professor Mescheryakov V. Doctor of Technical Science, Docent Mochalin S. Doctor of Technical Science, Docent Ploskonosova V. Doctor of Philosophy, Professor Ponomarenko Yu. Doctor of Technical Science, Docent Prokopets V. Doctor of Technical Science, Professor Sirotyk V. Doctor of Technical Science, Professor Smirnov A. Doctor of Technical Science, Professor Khairova S. Doctor of Economical Science, Docent Scherbakov V. Doctor of Technical Science, Professor</p> <p><i>International Editorial Board of the magazine:</i> Vinnikov J. L. Dr.-Ing. Science, a member of the Ukrainian Society of Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation, a member of ISSMGE, member of the Academy of Construction of Ukraine (Ukraine) Zhusupbekov A. J. President of Kazakhstan Geotechnical Association, Director of Geotechnical Institute at ENU LN Gumilev, Dr.-Ing. Science, Professor, member ISSMGE. (Kazakhstan) Lim Dong Oh Dr. of Engineering, Professor University President Dzhungbu (South Korea) Victor Lis Dr. – lang (WAK) Entwick lungsingenieur Buro Krantechnic, Konstruktion Sonderkrane Liebherr – Werk Biberach GmbH (Germany) Podshivalov V. P. Dr. teh.h Sci., Head. Univ. Surveying Engineering of the National Technical University (Belarus) Khmara L. A. Dr.-Ing. Sci., Head. Univ. "Construction and Road Machines" (Ukraine)</p>
--	---

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

В. В. Акимов, П. В. Петунин, А. М. Селищев, Я. В. Алтухов Разработка технологии получения режущего инструмента из литых заготовок быстрорежущей стали	7
А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, А. В. Шимохин Применение системы диагностики подшипников при оценке технического состояния подвижного состава	11
А. В. Белякова Автомобильный тренажер для обучения служебному торможению	19
П. Б. Гринберг, К. Н. Полещенко, Д. Н. Коротаев, Е. П. Целых Наноструктурные топокомпозитные покрытия для резинотехнических конструктивных элементов трибосопряжений	28
В. Ю. Иванов Исследование математической модели сложной динамической системы рыхлительного агрегата с системой управления положением рабочего органа	35
В. Н. Иванов, Л. С. Трофимова Обоснование допущений в математическом моделировании формирования и развития систем машин дорожных организаций	39
И. М. Корнев Блок управления гидроприводом рабочего органа скрепера-планировщика	46
В. Н. Кузнецова, А. Н. Шаймарданов Имитационная модель рабочего процесса холодной фрезы	49
И. А. Мурог, Е. С. Терещенко, Д. Ю. Фадеев, Д. В. Шабалин Модернизация трансмиссий автомобилей многоцелевого назначения	54
Е. А. Петров, В. А. Краус Уровни управления интеллектуальной транспортной системы	61
В. Л. Соловьев Повышение точности контроля усилия затяжки при сборке групповых резьбовых соединений	67

РАЗДЕЛ II

СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Е. В. Иванов, А. Л. Исаков, В. В. Сиротюк Экспериментальное исследование и математическое моделирование промерзания земляного полотна из золошлаковой смеси	71
М. И. Зимин, С. А. Зимина Прогнозирование воздействий на транспортные сооружения в горной местности на основе бионического подхода	76
А. Ф. Косач, И. Н. Кузнецова, С. В. Данилов, Н. А. Гутарева Технология и производство ячеистых бетонов на основе отходов кварца	82
А. Б. Самойленко, В. Н. Шестаков Нанотехнология ликвидации пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна управляемым защелачиванием	87
З. Н. Соколовский, Е. Г. Холкин Определение несущей способности тонкостенных конструкций с учетом местной потери устойчивости	93

РАЗДЕЛ III

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

С. А. Ступаков, О. А. Сидоров, В. М. Филиппов, А. А. Орлов Построение математической модели механического износа контактных пар устройств токосъема	97
Г. И. Шабанова, С. В. Савельев, Г. Г. Бурый Математическое описание колебательной системы «вибрационный рабочий орган – грунт»	102

В. С. Щербаков, М. С. Корытов, А. Н. Шабалин Алгоритм процесса управления положением крюковой обоймы грузоподъемного крана	107
--	-----

РАЗДЕЛ IV
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В. В. Карпов, С. В. Кондратюков Динамика конкуренции и конкурентоспособности	114
--	-----

М. С. Попов Оценка интенсивности и направленности развития предприятия на основе сопоставления рейтингов рентабельности и конкурентоспособности	120
---	-----

И. А. Эйхлер Организация рециклинга автотранспортных отходов на основе реализации механизмов частно-государственного партнерства	124
--	-----

РАЗДЕЛ V
ВУЗОВСКОЕ И ПОСЛЕВУЗОВСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В. В. Бирюков, А. Н. Витушкин Формирование бренд бенчмаркетинга системы высшего профессионального образования	128
---	-----

Е. В. Цупикова Основные направления методики развития мышления	133
--	-----

РАЗДЕЛ VI
ЭКОЛОГИЯ И ЭРГОНОМИКА

Д. С. Алешков, Е. А. Бедрина, А. Ю. Клишина Исследование влияния организации городской среды на динамику числа пострадавших при химическом заражении	137
--	-----

CONTENTS

PART I TRANSPORTATION. TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINERY

V. V. Akimov, P. V. Petunin, A. M. Selichev, Y. V. Altuhov Development of technology for cutting tool made of high speed steel castings	7
A. L. Ahtulov, L. N. Ahtulova, A. V. Shimohin Application of system of diagnostics of bearings at an estimation of a technical condition of a rolling stock	11
A. V. Belyakova Simulator for the training of the service braking	19
P. B. Grinberg, K. N. Poleshchenko, D. N. Korotaev, Y. P. Tselih Nanostructural topokompozitnye of the covering for the tribosopryazhenys rubber constructive elements	28
V. Y. Ivanov The algorithm of the automatic two-loop position control of the working body loosening assembly	35
V. N. Ivanov, L. S. Trofimova Justification of the assumptions in the mathematical modeling of the formation and development of systems of machines road organizations	39
I. M. Kornev Control of the body hydrodrives scrapers planner	46
V. N. Kuznetsova, A. N. Shaymardanov Imitating model of working process of the cold mill	49
I. A. Mypor, E. S. Tereshchenko, D. YU. Fadeev, D.V. Shabalin Modernization of the transmission multi-purpose vehicles	54
E. A. Petrov, V. A. Kraus Management levels of intelligent transportation systems	61
V. L. Solovev Improving the accuracy of torque controlled preloading while assembling of group threaded connections during maintenance of different machinery	67

PART II ENGINEERING. BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

E. V. Ivanov, A. L. Isakov, V. V. Sirotuk Experimental study and mathematical modeling of road bed freezing made of ash mixture	71
M. Zimin, S. Zimina Prediction of traffic facilities in mountainous areas based on bionic approach	76
A. F. Kosach, I. N. Kuznetsova, S. V. Danilov, N. A. Gutareva Technology and manufactures cellular concrete on the basis of waste of quartz	82
A. B. Samoilenko, V. N. Shestakov The nano-technology of the clay soils frost heavy liquidation of the soil bed means of the controlling alkalization	87
Z. N. Sokolovsky, E. G. Holkin Determination of bearing ability of thin-walled designs taking into account local loss of stability	93

PART III MATHEMATICAL MODELING. SYSTEMS OF AUTOMATION DESIGNING

S. A. Stupakov, O. A. Sidorov, V. M. Philippov, A. A. Orlov Construction of mathematical models mechanical wear contact pairs devices current collection	97
G. I. Shabanova, S. V. Saveliev, G. G. Buriy Mathematical description of the oscillating system "vibrating working body – the ground"	102
V. S. Shcherbakov, M. S. Korytov, A. N. Shabalin Algorithm of management position hookblocks hoisting cranes	107

**PART IV
ECONOMICS AND MANAGEMENT**

V. V. Karpov, S. V. Kondratyukov The dynamics of competition and competitiveness	114
M. S. Popov The valuation of the enterprise development intensity and trend based on the comparison of the rating dynamics of profitability and competitiveness	120
I. A. Eychler Organization of recycling of waste of autotransport with application of mechanisms of private-state partnership	124

**PART V
GRADUATE EDUCATION**

V. V. Biryukov, A. N. Vitushkin Formation of brand benchmarkinga higher education	128
H. V. Tsoupikova Basic trends in thinking development methods	133

**PART VI
ECOLOGY**

D. S. Aleshkov, E. A. Bedrina, A. U. Klishina Dependences of influence city environment organization on the dynamics quantity suffers in chemical dangerous zone	137
--	-----

РАЗДЕЛ I ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

УДК 621.941.001

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

В. В. Акимов, П. В. Петунин, А. М. Селищев, Я. В. Алтухов

Аннотация. Производство инструмента из проката является дорогостоящим процессом, поэтому предложен более эффективный способ – заготовки готовить на основе литейной технологии. Затем осуществлять прокатку в трёх ручьях, отжиг, сварку и механическую обработку.

Ключевые слова: инструмент, прокат, отжиг, завивка свёрл.

Введение

Задачи инструментального производства – повышение качества, снижение себестоимости, увеличение выпуска режущего инструмента можно решить рядом мероприятий, в том числе применением прогрессивной технологии. Одним из таких направлений является метод получения инструмента пластической деформации металла без снятия стружки, в котором в полной мере использованы возможности термомеханической обработки с целью повышения режущих и прочностных свойств.

Возрастающий дефицит таких легирующих элементов быстрорежущей стали как вольфрам, кобальт и молибден заставляют с одной стороны новые составы быстрорежущих сталей, а с другой стороны разрабатывать новые технологии.

Сверла крупных размеров являются весьма металлоемкими и трудоемкими в изготовлении. На их производство ежегодно расходуются тысячи тонн дорогой, и дефицитной быстрорежущей стали и используется значительный парк специального сложного оборудования. Поэтому новые методы и пути усовершенствования технологии изготовления сверл, направленные на уменьшение расхода стали и снижение трудоемкости их изготовления, имеют первостепенное значения.

Изготовление сверл крупных размеров методом отливки в оболочковые формы дает возможность использовать отходы быстрорежущей стали, но такой инструмент не конкурентоспособен, он имеет существенный недостаток – повышенную хрупкость из-за наличия в структуре ледебуритной эвтектики. Как показала практика, качественно улучшить структуру литой быстрорежущей стали можно путем использования кокилей при отливке заготовок небольшого объ-

ема и в большей степени применением пластической деформации. С учетом этих факторов, основываясь на современных технологических процессах изготовления сверл, был предложен способ производства свёрл, включающий в себя литьё заготовок в кокиль с последующей их прокаткой на стане и завивкой. Такой метод позволит использовать отходы инструментального производства, сократить производственный цикл изготовления свёрл и уменьшить стоимость сверла, снизит расход металла.

Всё это позволит улучшить стойкость свёрл по следующей причине: отливка заготовок в кокиль даст возможность получить мелкозернистую структуру и лецебуритную эвтектику более тонкого строения; 2-литая структура быстрорежущей стали значительно улучшается в результате горячей обработки давлением при прокатке сверл; 3 – такая технология исключает многократный высокотемпературный нагрев стали, который обычно снижает ее теплостойкость; 4 – остатки литой структуры в готовом сверле не ухудшает его стойкость, а наоборот, повышает ее за счет наибольшей устойчивости литой структуры против истирания.

Современное машиностроение предъявляет жесткие требования к режущему инструменту. Удовлетворить эти требования можно только разрабатывая и внедряя новые марки сталей, совершенствуя технологию литья, режимы пластической деформации, термической и термомеханической обработки.

В задачу исследований по данной теме входили такие вопросы:

1. Разработка технологии отливки заготовок для сверл;
2. Определение оптимальных режимов деформации литой быстрорежущей стали и калибровка ручьев прокатного стана;

3. Исследование свойства литой и деформированной быстрорежущей стали и ее термическая обработка;

4. Изготовление опытной партии сверл и составление маршрутной технологии производства сверл из литых заготовок.

Разработанный технологический процесс осуществлён на примере изготовления свёрл секторного проката (диаметром 50 мм и выше) из литых заготовок, который включает в себя следующие основные операции:

1. Отливка цилиндрической штанги-заготовки в металлическую форму;

2. Отжиг отливок по режимам для быстрорежущей стали или высокий отпуск с целью уменьшения внутренних напряжений;

3. Отрезка прибыльной части и разрезка на мерные заготовки;

4. Сварка (контактная) литой мерной заготовки с хвостовой частью из стали 45 (40X);

5. Отжиг сварной заготовки по режимам, принятым для обычных свёрл (из катанной стали) с целью получения твердости 255-207 НВ для последующей механической обработки;

6. Механическая обработка заготовки для сверла секторного проката (токарная обработка поверхности, центровка, шлифовка быстрорежущей части);

7. Прокатка заготовки:

а) нагрев в соляной ванне до температуры максимальной пластичности (устанавливается по результатам исследования пластичности данной стали);

б) прокатка в трёх вспомогательных ручьях;

в) нагрев и прокатка в четырёх основных ручьях;

г) догрев рабочей части сверла до температуры 1050-1080 °С;

д) подстуживание на воздухе до температуры 750-850 °С;

е) завивка сверла.

8. Дальнейшая обработка сверл осуществляется по операциям как для обычных сверл секторного проката.

Выбор быстрорежущей стали для изготовления сверл из литых заготовок.

Идеальный режущий материал должен обладать определенными комплексом свойств, в том числе повышенной стойкостью при резании, достаточной теплостойкостью, высоким сопротивлением деформированию, износостойкостью, стабильно высокими режущими свойствами и др. К быстрорежущей стали предъявляется и ряд технологических свойств – хорошая закаливаемость, устойчивость против обезуглероживания и, пожалуй, самая важная технологическая характеристика в свете рассматриваемой

технологии по теме – деформируемость в литом состоянии.

Содержащиеся в быстрорежущих сталях карбиды и другие включения по своей природе очень тверды (HV 1700-2500 кг/мм²) [1]. Но относительно вязкая основа стали обеспечивает в сочетании с карбидами благоприятные физико-механические свойства режущего материала в процессе обработки материалов резанием. Весьма важны при этом для быстрорежущих сталей является равномерное распределение карбидов, которое зависит не столько от способа и температуры закалки, как от процесса затвердевания отливки после плавки и дальнейшей горячей пластической деформации.

До настоящего времени теория легирования быстрорежущей стали не может точно указывать оптимальные соотношения легирующих элементов, обеспечивающих наилучшее сочетание режущих и технологических свойств по видам и технологических свойств по видам инструментов и их назначению. При разработке новых составов быстрорежущих сталей используется лишь общие положения теории легирования, а основы критерий оценки качества инструмента остается эмпирический метод. В связи с этим целесообразно рассмотреть влияние основных легирующих элементов на свойства быстрорежущей стали(2).

Углерод в быстрорежущих сталях должен содержаться в определенном, оптимальном соотношении к содержанию карбидообразующих элементов. При меньшем содержании углерода сохраняется, в первую очередь в более устойчивых карбидах, не растворимых при закалке, а это приводит к уменьшению его концентрации в мартенсите и снижению твердости в закаленном и отпущенном состоянии. Повышенное содержание углерода увеличивают количество карбидов и карбидную неоднородность, что значительно ухудшает механические и технологические свойства быстрорежущей стали, в том числе пластичность. В случае повышенного содержания углерода наряду с карбидами легирующих элементов образуется карбиды цементитного типа. Повышается количество и устойчивость остаточного аустенита. Поэтому в среднелегированных быстрорежущих сталях, которые являются наиболее пластичными, целесообразно устанавливать содержание углерода согласуется с введением в сталь других легирующих элементов, особенно вольфрама, молибдена, ванадия, хрома для обеспечения нормальной теплостойкости стали умеренной теплостойкости его содержится 0,7 – 0,85, то большее содержание устанавливают в

сталей с повышенным содержанием ванадия: это необходимо для образования карбида M_6C без излишнего обеднения им аустенита (мартенсита) и ухудшения теплостойкости.

Вольфрам является основным легирующим элементом в быстрорежущей стали, влияющим на теплостойкость. Существенное влияние оказывает вольфрам на величину зерна и количество карбидной фазы.

Весовое количество карбидной фазы в отожженной стали увеличивается пропорционально содержанию в ней углерода и вольфрама. Избыточные карбиды задерживают рост зерна при нагреве, что дает возможность нагревать сталь до более высоких температур закалки и получать аустенит с большой концентрации углерода и легирующих элементов.

Оптимальное содержания вольфрама в быстрорежущей стали определяется, с одной стороны, необходимым количеством легирующей твердого раствора и высокой теплостойкости и с другой стороны стойкостью против перегрева, связанной с избыточными карбидами, препятствующим росту зерна.

Для снижения карбидной неоднородности, увеличения пластичности быстрорежущей стали в литом состоянии и в связи с дефицитностью вольфрама для изготовления инструмента все шире применяют стали с 3 - 5 % вольфрама (3).

Снижение содержания вольфрама для улучшения пластичности, снижения карбидной неоднородности, повышения прочности, вязкости должно компенсироваться введением молибдена. Присадка небольшого количества молибдена (0,8 % - 1 %) в вольфрамовые быстрорежущие стали улучшает технологические и режущие свойства. В настоящее время во все шире находят применение такие быстрорежущие стали, у которых часть вольфрама заменена молибденом. Это в равной степени относится как к сталям нормальной, так и повышенной производительности [19]. Возможность применение в быстрорежущих сталях молибдена может быть реализована в следующих случаях: в обычной высоковольфрамовой стали в виде небольших добавок - от 0,6 % - 1%, а иногда до 2 % - для улучшения режущих свойств, для замены части вольфрама (например, стали с 6% W & 5 % Mo; 2,5 % V) и наконец в сталях с малым содержанием вольфрама, в которых молибден вместо с ванадием заменяет большую часть вольфрама, в которых (например стали с 9 % Mo; 2 % W; 1 % V; или 2,5 % W; 2,5 % V) [20]. Обращает на себя внимание последний состав стали (2,5 % Mo; 2,5 % W; 2,5 % V;), который является наиболее экономнолегируемым и оптимально с точки зрения его для изготовле-

ния сверл крупных размеров по разрабатываемой технологии.

В литературе часто приводится указание на то, что молибден может заменить вольфрам в соотношении 1:2. Однако это соотношение не может рассматриваться как универсально действующее правило [2]. В работе Ю. А. Геллера указывается, что при содержании в быстрорежущей стали молибдена до 2 % соотношение вольфрама и молибдена следует применять 1:1,5 (1% W = 1,5 % Mo)

Ванадий в быстрорежущей стали является необходимым элементом, повышающим вторичную твердость стали и теплостойкость. Избыточные карбиды ванадия задерживают рост зерна аустенита при нагреве под закалку, обладает чрезвычайно высокой твердостью повышает износостойкость, но ухудшает шлифуемость стали.

Одним из основных вопросов легирования быстрорежущей стали является рациональный

выбор соотношения $\frac{V}{C}$, при котором быстро-

режущие стали приобретает высокую твердость и теплостойкость, лежит в пределах 2 – 2,27. Увеличение соотношения до 2,8 – 3,7 ухудшает условия растворения карбидов в твердом растворе, снижает твердость, теплостойкость и режущие свойства инструмента. В свою очередь уменьшение этого соотношения до 1,4 вызывает сильный рост зерна, увеличивает количество и устойчивость остаточного аустенита и резко снижает прочность стали.

Хром является единственным элементом, содержание второго в быстрорежущей стали установлено в одинаковых пределах (4 – 4,5 %) как в отечественных, так и в зарубежных стандартах для всех марок.

Хром улучшает закаляемость и прокаливаемость стали. Их всех карбидообразующих элементов хром обладает наибольшей способностью образовывать сложные карбиды. Наличие некоторого количества карбида $Cr_{23}C_6$, который растворяется при относительно низкой температуре нагрева приводит к насыщению аустенита углеродом.

Выводы

1. Отливка заготовок, предназначенных для изготовления сверл методом прокатки, должна производится в металлическую форму. В качестве противопригарной обмазки кокилей рекомендуется окись хрома с растительным маслом.

2. Пластическая деформация существенно изменяется свойства литой стали 11P3M3Ф2

Интенсивное увеличение механических свойств наблюдается с ростом деформации до 40-50 %.

3. Различные методы исследования позволили выявить температурный интервал наилучшей пластичности для исследуемой стали, который лежит между 1000 - 1120С. Целесообразно определять показатели пластичности быстрорежущих сталей наиболее близким к производственным условиям методом прокатки на клин, а в лабораторных условиях методом горячего скручивания.

4. Анализ калибровки прокатного стана для сверл позволит установить, что принятая на заводе калибровка в четырех ручьях является неприемлемой для прокатки сверл из литых заготовок. Большие обжатия приходится на первый ручей. Опробована опытная калибровка стана со вспомогательными ручьями при прокатке сверл из литых заготовок.

5. Литая структура быстрорежущих сталей после прокатки значительно изменяется. При прокатке сверл в перемычке наблюдается максимальная степень деформации, по структуре соответствующая - 80 %. Здесь ледебуритная сетка полностью раздроблена и структура приобретает характерное для катаной стали строчечное расположение карбидов. Следы литой структуры сохраняются во всех остальных участках сечения сверла, а также на ленточках.

6. Анализ величины зерна аустенита и твердости закаленной стали 11P3M3Ф2 позволит установить интервал температуры аустенизации, который равен 1190-1210С.

7. Прочность при статическом изгибе у стали 11P3M3Ф2 значительно возрастает по мере увеличения степени деформации. Так в литом состоянии $\sigma_{изг} = 50-70$ кг/мм².

8. Горячая пластическая деформация литой быстрорежущей стали вызывает повышение её плотности до деформации 30-40 %. Это связано с завариванием микропор, рыхлостей и других дефектов литой структуры. Лучшей теплопроводностью (электропроводностью) обладает сталь 11P3M3Ф2 после относительной деформации более 25-30 %.

9. Построенная диаграмма рекристаллизации аустенита позволила оптимизировать режимы термодинамической обработки и определить температурные и деформационные области формирования исходной мелкозернистой структуры и высоких прочностных свойств стали 11P3M3Ф2.

10. Изготовлена опытная партия сверл по разработанной технологии. Анализ брака из

этой партии показал, что основным видом брака при прокатке являются дефекты литья.

Библиографический список

1. Васин, С. А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учеб. для техн. вузов / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.-448с.

2. Иванов, И. А. О восстановлении профиля поверхности обода колес повышенной твердости / И. А. Иванов, А. А. Воробьев, В. С. Кушнер, А. С. Безнин // Развитие транспортного машиностроения в России: Матер. междунар. конф. «Желдормашиностроение 2004». С. 150-152

3. Иванов, И. А. Тепловое состояние инструмента при обработке железнодорожных колес / И. А. Иванов, И. Г. Киселев, В. И. Крылов // Технологические процессы в машиностроении (технология конструкционных материалов): Усиление связей фундаментальной и технологической подготовки в техническом университете: Мастер. межрегион. науч. - метод. Семинара. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. С.111-116.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR CUTTING TOOL MADE OF HIGH SPEED STEEL CASTINGS

V. V. Akimov, P. V. Petunin,
A. M. Selichev, Y. V. Altuhov

Production of tool steel is expensive, and there fore proposed a more efficient way of blank prepared based on foundry technology. Then implement rolling in three streams, annealing, welding and machining.

Акимов Валерий Викторович – д.т.н., профессор; зав. кафедрой КМиСТ Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). Основное направление научной деятельности: Порошковые материалы.

Петунин Павел Владимирович – соискатель Сибирской государственной автомобильной дорожной академии (СибАДИ). Основное направления научной деятельности: Инструментальные стали.

Селищев Алексей Михайлович – соискатель Сибирской государственной автомобильной дорожной академии (СибАДИ). Основное направление деятельности: Износ стали.

Алтухов Яков Вячеславович – соискатель Сибирской государственной автомобильной дорожной академии (СибАДИ). Основное направление деятельности: Двигатели внутреннего сгорания.

УДК 629.471

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, А. В. Шимохин

Аннотация. В статье рассматриваются существующие настоящее время системы диагностики узлов подвижного состава, организация и совершенствование процесса ремонта буксовых узлов подвижного состава по результатам диагностики. Приводится диагностическая модель объекта, а также методика совершенствования ремонта по фактическому состоянию с применением технической диагностики

Ключевые слова: система технической диагностики, дерево состояния подвижного состава, диаграмма неисправностей подвижного состава, структурный состав грузового вагона по узлам, граф технических состояний подвижного состава.

Введение

Техническое и обслуживание (ТО) и ремонт (ТР) подвижного состава - вторая наряду с эксплуатационной работой функция депо. Расходы на ТО и ТР составляют 25 % общих расходов хозяйства [7]. Затрачиваемые на ремонт подвижного состава (ПС) средства в течение срока его службы, в 8...10 раз больше первоначальной стоимости [4].

Для обеспечения требуемой надежности ПС предусмотрена планово-предупредительная система, определяющая виды технического обслуживания (ТО-1...ТО-4), текущих (ТР-1...ТР-3) и капитальных (КР-1...КР-2) ремонтов в зависимости от пробега или срока эксплуатации. При этом структура ремонтного цикла определяется порядком чередования видов технического обслуживания и ремонта.

Для вагонов установлены следующие виды ремонта:

— капитальный — производится на специализированных вагонно-ремонтных заводах и для отдельных типов вагонов в вагонных депо. Основные типы грузовых вагонов проходят капитальный ремонт один раз в десять лет, полувагоны — один раз в семь лет;

— деповской ремонт вагонов производится в вагонном депо после пробега 160000 км.

Техническое обслуживание вагонов включает в себя технический осмотр и текущий ремонт (безотцепочный и отцепочный). Текущий ремонт не является плановым видом ремонта и выполняется в зависимости от технического состояния.

При планировании ремонтов необходимо учитывать данные о техническом состоянии отдельных узлов в целом. Получение достоверной информации о техническом состоянии невозможно без системы технической диагностики систем (СТД).

Из анализа литературы [5] известно, что в настоящее время в вагонном депо могут находиться разнообразные диагностические наладочно-испытательные стенды для различных видов оборудования: тяговые двигатели, автотормоза, электрические аппараты, системы управления, механическое оборудование и др., постепенно эти стенды автоматизируются. Во многих случаях в составе комплексов появляется ПЭВМ в качестве информационно-управляющей подсистемы

В системе управления депо диагностические стенды выполняют функцию получения объективной информации о состоянии подвижного состава. При наличии наладочных и ремонтных функций, диагностические стенды одновременно являются исполнительными элементами.

Вместе с тем не существует единой системы, использующей данные таких систем для формирования регламента и состава ремонтов ПС. Такая система должна использовать преимущественно безразборные методы диагностирования (по излучению теплоты, вибрации и т.д.).

По характеру охвата системы технического диагностирования (СТД) делятся на локальные и общие.

По характеру воздействия СТД делятся на функционального и тестового диагностирования.

По степени автоматизации СТД делятся на автоматические, автоматизированные и ручные. Автоматизация зависит от формализованности алгоритма диагностирования и степени механизации стенда. При полной автоматизации тестирования сам алгоритм относится не к автоматическому, а автоматизированному, т.к. предполагает диалог с оператором.

СТД по принципу использования делятся на стационарные, бортовые, встроенные и переносные. С широким распространением микро-

процессорных систем, а также с появлением бортовых систем контроля выбор принципа действия СТД стал актуальным вопросом.

По назначению СТД делятся на системы проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования, локализации места дефекта и прогнозирования технического состояния.

Необходимым условием обеспечения безопасности движения железнодорожном транспорте является надежная и безотказная работа подвижного состава. Одной из мер, позволяющей обеспечить надежность и сократить затраты на проведение ремонтных работ является своевременное определение дефектных узлов и деталей вагонов, принятие решения о проведении ремонта забракованного вагона, с помощью систем технической диагностики.

В процессе производства, эксплуатации и хранения машин и оборудования в них могут накапливаться неисправности. Это приводит к тому, что оборудование перестает отвечать предъявляемым к нему техническим требованиям. Для замены или ремонта неисправных деталей необходимо установить место неисправности. Определение вида и местоположения дефектов является основной задачей технической диагностики.

Источниками входной информации для систем диагностики служат параметры, несущие информацию о техническом состоянии объекта. Эти параметры должны прямо или косвенно отражать состояние объекта.

Вопросы технической диагностики в трудах Биргера И. А., Порхоменко П. П. и др. авторов создали базу для развития методов диагностики различных механических систем.

Анализируя литературу по технической диагностике [1, 2, 3, 6, 7], можно выделить различные существующие системы диагностики и их назначение.

Рассмотрим отечественные системы технического мониторинга, применяемые на сети железных дорог России.

Существует система дистанционного контроля исправности вагонов (ДИСК), в составе которой имеются подсистемы обнаружения нагретых букс (ДИСК-Б), дефектов поверхно-

сти катания колес (ДИСК-К), контроля исправности тормозов (ДИСК-Т), обнаружения волоочащихся деталей (ДИСК-В).

В последнее время разработан еще ряд подсистем для контроля технического состояния вагонов. К ним относятся дистанционная система контроля перегруза вагона (ДИСК-З), проката колес (ДИСК-П) и др.

В работе, выполненной в рамках программы "Future Integrated Transport" (FIT096), которую финансировало Министерство транспорта Великобритании (DfT), "ERCR Project" (Enhanced Railway Contribution through improved Reliability), ученые из университета Birmingham совместно со специалистами ведущих компаний Alstom Train Service, AEA Technology Rail и др. теоретически обосновали, создали, а затем проверили в эксплуатации систему мониторинга технического состояния узлов тележки и пути (используя для этого датчики, установленные на раме тележки, осевых буксах и внутри вагона) с целью оптимизации системы их технического содержания.

Большое внимание мониторингу колесных нагрузок также уделяется на европейских железных дорогах, где на сети железных дорог ряда стран успешно действуют многочисленные путевые системы контроля колесных нагрузок.

Японская компания Kyushu Railway Company и TOACK Inc. разработала для коммерческого применения на железных дорогах устройство для мониторинга вибросостояния подвижного состава. С целью заблаговременно выявления «тревожной» ситуации и предотвращения аварии, в первую очередь, схода колеса с рельса, давая возможность немедленно оповещать локомотивную бригаду и другие службы (управления движением, ремонтные) о появлении ненормальной вибрации на борту транспортно единицы и для принятия ими мер по ее устранению.

Основная часть

В принципе, оценка состояния подвижной единицы возможна в виде дерева, соответствующего логическому состоянию объекта. Пример дерева приведен на рис. 1.

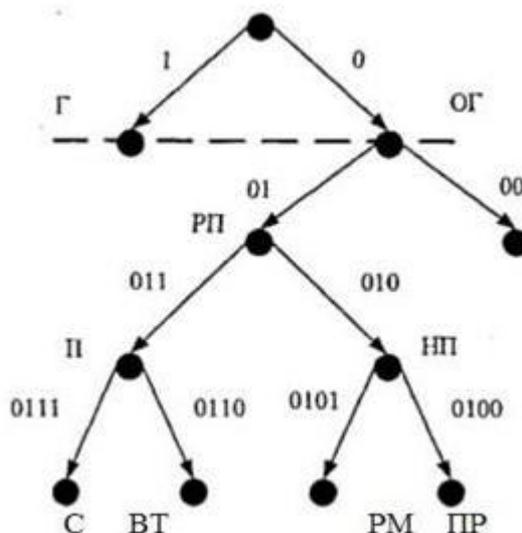


Рис. 1. Дерево состояний подвижного состава

Подвижная единица может рассматриваться в различных состояниях. На первом этапе детализации вводим два состояния: годен (Г) и ограниченно годен (ОГ), что соответствует первому ветвлению графа состояния (см. рис. 1.). По правилам кодирования можно присвоить одной дуге графа код 1, второй - 0. ветвь с кодом 1 соответствует полностью функционирующей подвижной единице и дальше не может детализироваться. Ограниченная годность предполагает несколько различных исходов. Ветвь с кодом 00 неремонтопригодной единицы (НРП) и также может дальше не ветвиться, а ветвь с кодом 01 соответствует ремонтпригодному состоянию (РП, код 01). В свою очередь, ремонт может производиться с перемещением этой единицы в депо (перемещаемый объект П, код 011) или он не способен к перемещению (неперемещаемый объект НП, код 010). В последнем случае единица подвижного состава может перевозиться по частям (перемещение с разборкой ПР, код 0100) или ремонтироваться на месте (РМ, код 0101). Перемещаемые единицы могут, в свою очередь, двигаться самостоятельно (С, код 0111) или на внешней тяге (ВТ, код 0110).

Для дальнейшего описания достаточно выделить три состояния: две тупиковые ветви (Г и НРП) и ветвь ремонтпригодности. Задача служб эксплуатации — поддерживать подвижные единицы в годном состоянии (или вовремя их удалять без нарушения графика движения). Таким образом, оставим в рассмотренном графе три вершины (коды 1, 01. и 00).

Выделенные состояния являются результатом эксплуатации подвижного состава, причем естественная тенденция - переходить из состояния Г в РП и в дальнейшем в НРП. Задача служб эксплуатации и ремонта заключается в минимизации вероятности таких переходов.

Выше отмечалось, причинами отказов может служить дефекты нескольких систем: механической, пневматической или электрической.

Рассмотрим ситуацию: подвижная единица может придти в состояние 01 или 00 и проанализируем причины такого перехода. На первом этапе анализа выделим наиболее крупные узлы неисправности которых может привести к отказу. Пусть таких узлов выделено К, тогда ситуацию перехода можно представить в виде графа на рис.2.

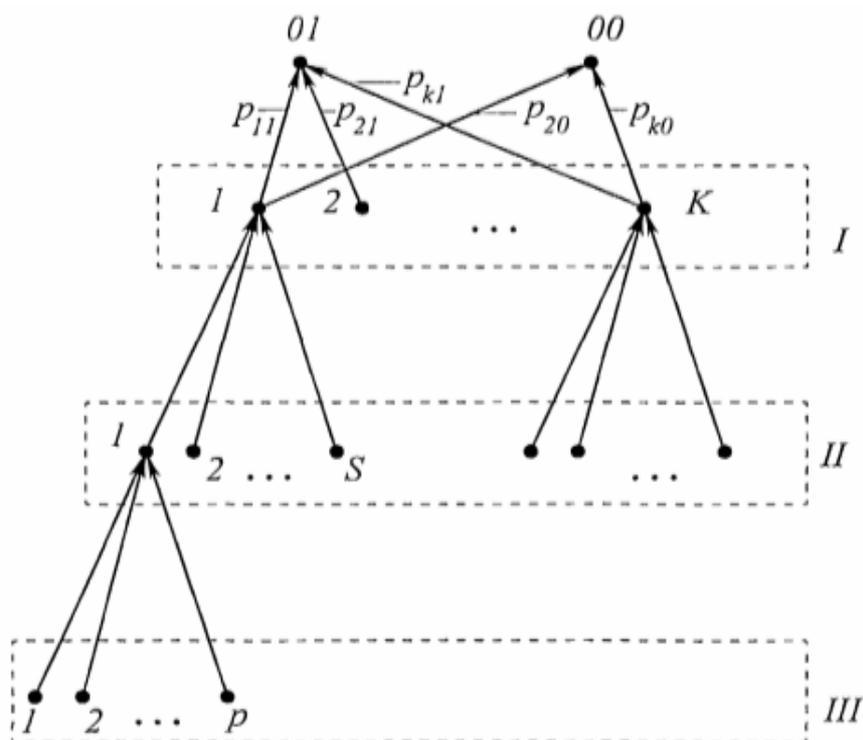


Рис. 2. Диаграмма неисправностей подвижного состава

Описанный выше этап на диаграмме обозначен цифрой 1. Неисправность одного из блоков K может привести подвижной состав либо в состояние 00 либо 01.

Соответствующие переходы могут оцениваться числовыми характеристиками. Одна из таких характеристик – вероятность перехода. На рисунке в частности: r_{21} – вероятность неисправности блока 2, приводящая к частичной неисправности подвижной единицы, вероятность r_{20} – к полной неисправности.

Описанный выше этап на диаграмме обозначен цифрой 1. Неисправность одного из блоков K может привести подвижной состав либо в состояние 00 либо 01.

Соответствующие переходы могут оцениваться числовыми характеристиками. Одна из таких характеристик – вероятность перехода. На рисунке в частности: r_{21} – вероятность неисправности блока 2, приводящая к частичной неисправности подвижной единицы, вероятность r_{20} – к полной неисправности.

Выделенные на этапе 1 узлы состоят из S компонентов. Которые в свою очередь состоят из p деталей. Граница такого разбиения определяется уровнем ремонта или технической диагностики в условиях депо: если деталь при

ремонте заменяется на неисправную и не ремонтируется то дальнейшее разбиение не имеет смысла. В тоже время для таких деталей как подшипник следует выделять его компоненты: наружное кольцо, внутреннее кольцо, ролики, сепаратор, т.к. предложенные далее методы технической диагностики определяют состояние подшипника, а следовательно, узла и всей единицы подвижного состава по этим компонентам.

Одним из основных элементов, влияющих на надёжность, являются буксовые узлы и их главный узел - буксовые подшипники. По конструкции и параметрам буксовые узлы грузовых и пассажирских вагонов не отличаются, поэтому целесообразно разрабатывать унифицированные участки по их комплексному контролю и диагностике.

Учитывая компоненты подшипника диаграмма неисправностей будет выглядеть как показано на рисунке 3, здесь на первом уровне выделены конструктивные узлы вагона, и по третьему компоненты детали, которые могут иметь дефект (обозначения: НК - наружное кольцо, ВК - внутреннее кольцо, С - сепаратор, Р - ролики) (см. рис. 3).

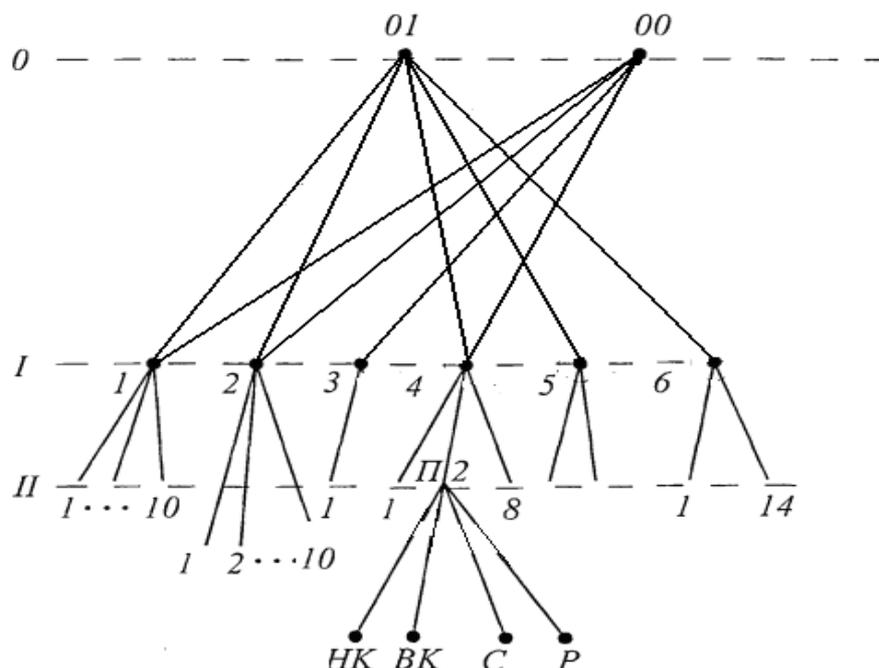


Рис. 3. Диаграмма неисправностей вагонов с разбиением на компоненты подшипника:
 1- автосцепка; 2 - тормозное оборудование; 3 - колесная пара; 4- буксовый узел;
 5 - механизм подвески; 6- механизм амортизации

Подшипники являются сложными техническими системами, работающими при высоких знакопеременных нагрузках. Ролики используемых в настоящее время подшипников имеют сложную форму. Исходя из этого, универсальное диагностическое оборудование может быть сложным, а, следовательно, дорогим.

Для продолжения анализа системы ремонта подвижного состава разобьем вагон на следующие узлы: механизм подвески, меха-

низм амортизаторов, автосцепка, тормозное оборудование, колёсные пары и буксовые узлы (всего 7 наименований).

Каждый из узлов состоит из деталей; количество проверяемых по инструкциям деталей по узлам показано в таблице 1 (третий столбец). Здесь же приведены данные (четвёртый столбец) о количестве и типах используемого проверочного оборудования (соответственно столбцы 5 и 6).

Таблица 1 - Структурный состав грузового вагона по узлам

№	Наименование узла	Кол-во деталей	Кол-во средств контроля	Тип оборудования контроля
1	автосцепка	10	4	Шаблона, линейки, дефектоскоп
2	Тормозное оборудования	10	2	Нутромер
3	Колесная пара	1	3	
4	Буксовый узел	8	4	Щупы, эхонофенондоскоп
5	Механизм подвески	14	3	Щупы, шаблоны
6	Механизм амортизации	4	21	Щупы, шаблоны

Из таблицы 1 видно, что наиболее охвачены средствами контроля детали и узлы автосцепки, механизм амортизации. С другой стороны, многие узлы практически не диагностируются (тележка, рама, колёсная пара, что настоятельно требует разработки соответствующего оборудования. При этом используются

обычные инструменты ручного действия (линейки, шаблоны, щупы), что представляет большие возможности для ускорения ремонта.

Обратим внимание на статистику отказов буксовых узлов для грузовых вагонов составляет 52 % от общего процента отказов и 20 % пассажирских вагонов.

Буксовый узел наименее надежный, при этом современные методы контроля буксового узла (вибродиагностика) применяются после ремонта, при контроле качества восстановления. Информация текущего состояния буксовых узлов не учитывается при планировании ремонта. Для планирования ремонтов должна применяться система технической диагностики, несущая информацию о его техническом состоянии выраженного количественным параметром.

Рассмотрим построение такого параметра на основе спектральных данных вибросигнала.

Эффективный метод по получению подробной информации о состоянии подвижных частей является вибродиагностика.

В литературе [3] дается определение вибродиагностики — это метод неразрушающего контроля, основанный на анализе комплекса

параметров вибрации для определения состояния узлов и механизмов. На основании полученной информации, можно оптимизировать планирование текущего и капитального ремонта, увеличить межремонтный интервал, уменьшить затраты на закупку запчастей и расходных материалов, прогнозируя оптимальную потребность в запасных деталях.

Рассмотрим основные характеристики источников возбуждения буксовых подшипников 232726 и 42726, чаще применяемые в буксах вагонов. Данные подшипники, относятся к радиальным с короткими цилиндрическими роликами широко распространен в буксах вагонов. Необходимые для расчета данные о размерах подшипников приведены в таблице 2.

Основные размеры представлены на рис.4.

Таблица 2 - Основные размеры подшипников

Внутренний диаметр d, мм	Наружный диаметр D, мм	Ширина Кольца B, мм	Диаметр Ролика d _р , мм	Длина Ролика l, мм	Число роликов z, мм	Диаметр окружности проходящей через центр роликов d _с , мм
130	250	80	32	52	14	190

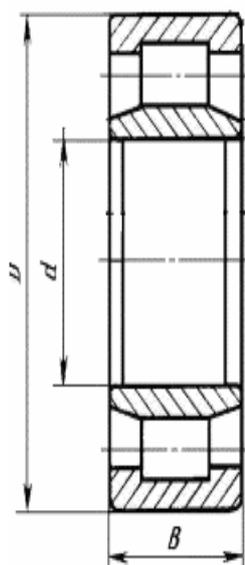


Рис. 4. Основные размеры роликовых подшипников типа 232726 и 42726

Вычислим частоты, являющиеся признаком дефекта. Примем, что внутреннее кольцо подшипника не проскальзывает относительно оси колесной пары. Тогда, согласно источнику [8], частоты дефектов подшипника будут следующие:

Частоты дефектов на наружном кольце:

$$F_{\text{днк}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right), \quad (1)$$

где f_p - частота вращения колесной пары, гц; d - диаметр ролика, мм; D - диаметр окружности, проходящий через центр роликов, мм; z - число роликов.

Частоты дефектов на внутреннем кольце:

$$F_{\text{оэк}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \right). \quad (2)$$

Частоты дефектов роликов:

$$F_{\text{оп}} = 2f_p \left(\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right). \quad (3)$$

Частоты дефектов сепаратора:

$$F_p = \frac{f_p}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right). \quad (4)$$

В результате можно построить частотную карту дефектов для данных подшипников (таблица 3).

Таблица 3 - Частотная карта дефектов подшипников типа 232726 и 42726

Вид дефекта	Формула частот(признак дефекта)	Значение ,Гц
Дефект наружного кольца	$F_{\text{днк1}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$ $F_{\text{днк2}} = k_1 F_{\text{днк1}} \pm k_2 F_p$ <p>где $k_1, k_2 = 1, 2$.</p>	$F11 = 5.8 * f_p$ $F12 = 6.6 * f_p$ $F13 = 12 * f_p$ $F14 = 12.4 * f_p$ $F15 = 6.8 * f_p$
Дефект внутреннего кольца	$F_{\text{оэк1}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \right);$ $F_{\text{оэк2}} = k_1 F_{\text{оэк1}} \pm k_2 f_p$	$F21 = 8.1 * f_p$ $F22 = 9.1 * f_p$ $F23 = 17.2 * f_p$ $F24 = 18.2 * f_p$ $F25 = 10.1 * f_p$
дефект роликов	$F_{\text{оп1}} = 2f_p \left(\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right)$ $F_{\text{оп2}} = k_1 F_{\text{оп1}} \pm k_2 F_p$	$F31 = 68.5 * f_p$ $F32 = 69.5 * f_p$ $F33 = 138 * f_p$ $F34 = 139 * f_p$ $F35 = 70.5 * f_p$
дефект сепаратора:	$F_p = \frac{f_p}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$	$F4 = 0.4 * f_p$
Перекас внутреннего кольца	$F_{\text{н внутр}} = 2 * f_p$	$F5 = 2 * f_p$
Перекас наружного кольца	$F_{\text{н наруж}} = 0.4 * z * f_p$	$F6 = 5.6 * f_p$

Выше были рассмотрены частоты, появляющиеся при определенном виде износа. Для распознавания дефекта необходимо перечислить частоты оборудования, на которых данный дефект имеет наибольшую мощность, т.е. будет наибольшая амплитуда. Как было указано выше, для нахождения таких частот необходимо информация о частоте вращения валов в нашем случае колесной пары и конструкции узлов, т.е. размеры подшипника указанные в таблице 2. Таким образом, создается база данных, хранящая информацию о

частотах дефектов, назовем набор всех частот F соответствующих определенному дефекту D «признаком дефекта» и обозначим A ($F1, F2...Fn$), где $F1, F2, Fn$ – частоты соответствующих дефектов.

На первом этапе происходит формирование значений параметров спектра вибросигнала диагностируемого узла. Т.е. создается «опорный спектр» вибросигнала для каждого возможного дефекта, содержащий значения амплитуд

$$A_0 = \sum_{k=i} A_n(F1...Fn), \quad (5)$$

где A_n - значение суммы амплитуд спектра вибросигнала на дефектных частотах F_n .

Вообще дефектные частоты – это частоты спектра вибросигнала, полученного в точках измерения, на которых наблюдается возрастание амплитуд вибросигнала при том или ином дефекте.

Поскольку большинство дефектов узлов проявляется в увеличении амплитуд спектральных составляющих на определенных частотах, то для определения появления дефекта достаточно оценить изменение суммы амплитуд «векторов дефекта» с «опорным спектром».

$$A_k = A_k(F1...Fn) / A_0. \quad (6)$$

Сравнение с предыдущим замером и последним необходимо для контроля скорости изменения диагностируемого параметра, что в дальнейшем используется при прогнозировании отказа.

Выводы

Приведенные данные свидетельствуют, что существуют системы мониторинга технического состояния вагонов (в том числе грузовых) способные обеспечивать данными для оптимального планирования ремонтов ПС. Системы технической диагностики экономически оправданы для тех видов и маршрутов перевозок, где сбой в технологической цепочке грозит убытками.

Построенный граф технических состояний подвижного состава показал, что по состоянию компонентов подшипника определяется состояние самого подшипника и, следовательно, состояние буксового узла по которому можно оценить вероятность отказа колесной пары, и вероятность поломки самой единицы подвижного состава.

Библиографический список

1. Балицкий, Ф. Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов [Текст] / Ф.Я. Балицкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова, Е. И. Хомяков; Отв. ред. М. Д. Генкин. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
2. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
3. Генкин, М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов [Текст] / М.Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. Э. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

5. Зайцев, Т. Н. Совершенствование систем ремонта тягового подвижного состава на базе внедрения аппаратно-программных комплексов и средств технической диагностики [Текст] / Т.Н. Зайцев. – М.: Транспорт, 2000. – 67 с.

6. Мартюнюк, Н. Г. Этапы разработки и становления АСУ вагонным хозяйством [Текст] / Н.Г. Мартюнюк, А. П. Ступин, А. В. Кирилук, Г. В. Райков. – М., 1997. – 52 с.

7. Матвеев, В. И. Организация труда в вагонном хозяйстве [Текст] / В. И. Матвеев, Ч. У. Березнякова. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.

8. Русов, В. О. Спектральная вибродиагностика [Текст] / В. О. Русов. – Спб.: Виброцентр, 1996. – 128 с.

APPLICATION OF SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF BEARINGS AT AN ESTIMATION OF A TECHNICAL CONDITION OF A ROLLING STOCK

A. L. Ahtulov, L. N. Ahtulova, A. V. Shimohin

The paper examines existing systems currently diagnostic units of rolling stock, the organization and improvement of the repair of the rolling stock axle boxes on the results of diagnosis. Provides diagnostic model of the object, as well as methods of improving on the actual state of repair with the use of technology.

Ахтулов Алексей Леонидович - доктор технических наук, профессор, действительный член Международной академии авторов научных открытий и изобретений и Академии проблем качества, Почетный работник высшего профессионального образования, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС). Направление научных исследований – организация производства, менеджмент качества, объекты управления и системы автоматизации проектирования. Общее количество публикаций 266.

Ахтулова Людмила Николаевна - кандидат технических наук, доцент, доцент электроэнергетики Тобольский индустриальный институт Тюменского государственного нефтегазового университета (ТИИ ТюмГНГУ). Направление научных исследований – организация производства, менеджмент качества, объекты управления и системы автоматизации проектирования. Общее количество публикаций 166.

Шимохин Антон Владимирович - аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС). Направление научных исследований – организация производства, менеджмент качества, объекты управления и системы автоматизации проектирования. Общее количество публикаций 7.

УДК 656.1

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СЛУЖЕБНОМУ ТОРМОЖЕНИЮ

А. В. Белякова

Аннотация. Приведены результаты разработки автомобильного тренажера для обучения плавному (служебному) торможению. Предложена информационная модель тренажера, воспроизводящая процесс управления служебным торможением. Адекватность информационной модели реальному процессу проверена экспериментально. Изложены результаты эксперимента с группой испытуемых по формированию навыка плавного выполнения служебного торможения на разработанном тренажере. Проведена оценка изменения показателя качества выполнения служебного торможения при обучении. Выявлено наличие эффекта обучения у испытуемых при выполнении тренировок.

Ключевые слова: тренажер, обучение водителей служебное торможение, информационная модель, эффект обучения.

Введение

Комфортабельность поездки в значительной степени определяется квалификацией и мастерством водителя. Наиболее частой операцией управления автомобилем является служебное торможение, которое применяется в штатных дорожно-транспортных ситуациях для снижения скорости движения или остановки автомобиля в заранее намеченном месте. Служебные торможения с относительно высоким уровнем замедления и частым его изменением могут довольно быстро вызвать ощущение дискомфорта у пассажиров. Эта проблема особенно актуальна для пассажирских перевозок автотранспортом общего пользования.

Одна из причин дискомфорта служебного торможения – отсутствие у водителя навыка плавного торможения. Этот навык должен вырабатываться у водителя на автодроме на начальном этапе обучения вождению. Однако количество упражнений (служебных торможений), предусмотренных программами подготовки водителей (например [1]), нельзя признать достаточным, причем успешность выполнения упражнения оценивается лишь субъективно либо инструктором, либо самим курсантом.

Принимая во внимание дефицит времени на учебное вождение, предусмотренное программой подготовки водителей [1], указанный пробел целесообразно восполнить специаль-

ными упражнениями на автомобильном тренажере. Однако массовые "бюджетные" модели тренажеров, генерирующие на экране монитора перспективное изображение дороги, мало пригодны для этой цели. Перспективное изображение дороги не обеспечивает полный визуальный контроль торможения с остановкой в заданном пункте. От этого недостатка свободны тренажеры с полем обзора не менее 180° , но они имеют относительно высокую стоимость.

Цель работы – создание специализированного автомобильного тренажера для обучения и тренировки управления служебным торможением автомобиля.

Обоснование информационной модели тренажера

Блок-схема системы "водитель-автомобиль" в режиме служебного торможения до остановки автомобиля показана на рисунке 1. Процесс служебного торможения является неустановившимся вследствие управляющих воздействий водителя. В момент начала торможения ($t = 0$) автомобиль имеет скорость V_0 и находится на расстоянии S_0 от пункта остановки. По визуальным оценкам скорости $V(t)$ и расстояния до пункта остановки $[S_0 - S(t)]$ водитель "вычисляет" требуемое для остановки замедление $j_{тр}$ и соответствующую силу F , которую он должен приложить к педали.

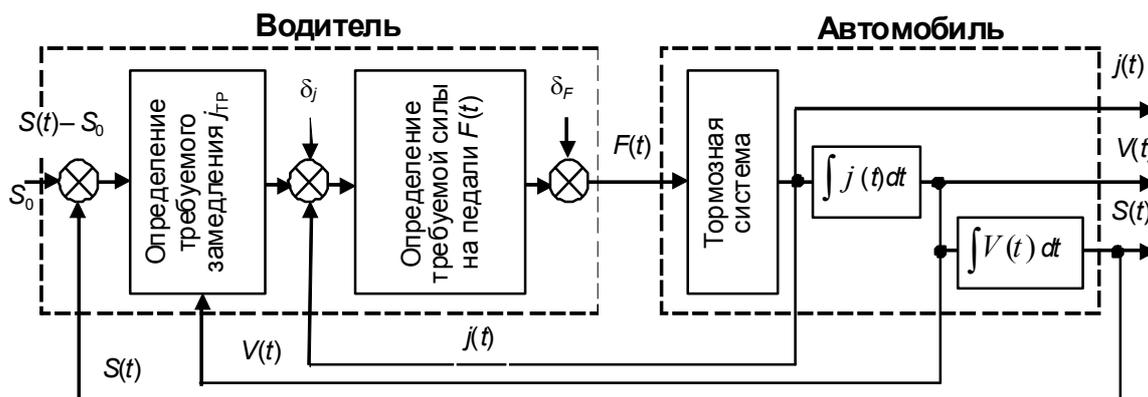


Рис. 1. Блок-схема системы "водитель-автомобиль" в режиме служебного торможения

Требуемое замедление $j_{тР}$ и уровень управляющего воздействия F водитель определяет с ошибками δ_j и δ_F , обусловленными порогами восприятия. Вследствие этого замедление автомобиля $j(t)$ отличается от требуемого уровня $j_{тР}$ и это отличие тем заметнее для водителя, чем ближе автомобиль приближается к требуемому пункту остановки. Обнаруженное рассогласование водитель устраняет корректировочным изменением силы на педали $F(t)$ вплоть до окончания торможения.

Из блок-схемы (см. рисунок 1) следует, что информационная модель тренажера служебного торможения должна воссоздавать три канала обратной связи:

- 1) визуальный о скорости движения автомобиля;
- 2) визуальный о расстоянии до заданного (требуемого) места остановки;
- 3) вестибулярный о замедлении автомобиля.

Для непрерывного восприятия расстояния до требуемого пункта остановки, вместо перспективного изображения дороги предложена более формализованная модель визуальной информации. На экране монитора предъявляется маркер, который перемещается в координатах "расстояние до пункта остановки [$S_0 - S(t)$] – скорость $V(t)$ ". Текущие значения пройденного пути $S(t)$ и скорости автомобиля $V(t)$ вычисляются по замедлению автомобиля $j(t)$, величина которого пропорциональна сигналу электронного датчика силы F нажатия на педаль тормоза.

Таким образом, предлагаемая модель визуальной информации тренажера воспроизводит задачу двухкоординатного слежения в координатах

$$\left\{ S_0 - \int \int j(t) dt \right\} \int j(t) dt \quad (V \geq 0). \quad (1)$$

При этом вертикальное отклонение маркера от нулевого уровня пропорционально скорости "автомобиля" $V(t)$, а расстояние по горизонтали влево от "пункта остановки", обозначенным в правой части экрана вертикальной линией, пропорционально расстоянию до пункта остановки [$S_0 - S(t)$].

Для иллюстрации работы модели визуальной информации рассмотрим простейший случай торможения – равнозамедленное движение ($j = \text{const}$). В этом случае изменение во времени скорости $V(t)$ и пути $S(t)$, пройденного автомобилем, определяются известными формулами, которые можно представить в виде параметрически заданной функции:

$$\begin{cases} V(t) = V_0 - jt; \\ S(t) = t \left(V_0 - \frac{1}{2} jt \right); \end{cases} \quad (V \geq 0). \quad (2)$$

Равенство уравнений (2) относительно независимого аргумента t и последующее решение уравнения относительно скорости V дает:

$$V = \sqrt{V_0^2 - 2jS}; \quad (V \geq 0). \quad (3)$$

На рисунке 2 показан процесс равнозамедленного движения автомобиля:

- квадрант II – изменение во времени замедления j и скорости V (2);
- квадрант IV – изменение во времени тормозного пути S (2);
- квадрант I – зависимость (3) скорости V автомобиля от пути S .

График в квадранте I является примером предлагаемой информационной модели каналов визуальной обратной связи тренажера с той лишь разницей, что в реальных процессах служебного торможения замедления изменяется вследствие корректировочных управляющих воздействий водителя.

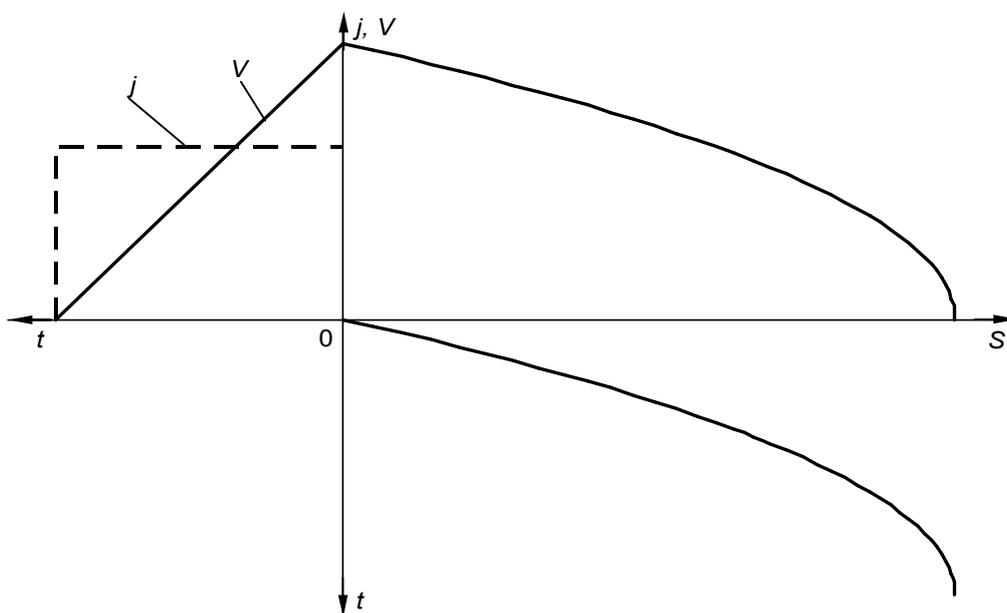


Рис. 2. Процесс равнозамедленного движения автомобиля

Модель визуальной информации реализована в компьютерной программе. В начале каждого торможения задается начальная скорость V_0 и тормозной путь S_0 , на котором требуется остановить "автомобиль". Неподвижный маркер располагается в левом верхнем углу экрана.

При пуске программы маркер начинает перемещаться горизонтально по экрану слева направо со скоростью, пропорциональной начальной скорости торможения V_0 . Когда маркер достигает пункта начала торможения, обозначенной на экране вертикальной лини-

ей, обучаемый начинает воздействовать на педаль тормоза, стараясь остановить "автомобиль" (маркер) в заданном пункте. При этом горизонтальное движение маркера замедляется, и одновременно он смещается вниз пропорционально снижению скорости "автомобиля". Задача водителя привести вертикальное отклонение маркера к нулевой линии как можно ближе к точке ее пересечения с вертикальной линией, обозначающей требуемый пункт остановки. Пример экранной формы при выполнении торможения показан на рисунке 3.

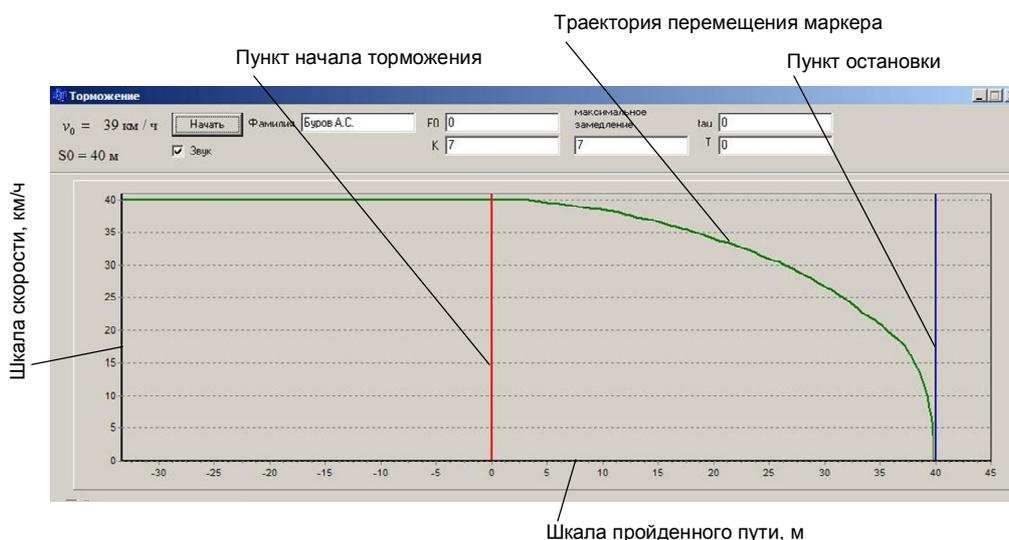


Рис. 3. Экранная форма компьютерной программы

Известные способы моделирования вестибулярной информации о замедлении автомобиля в тренажерах отличаются высокой технической сложностью и неприемлемы для тренажеров, предназначенных для массовой подготовки водителей. В предлагаемом тренажере вместо вестибулярной информации предъявляется звуковой сигнал, который начинает подаваться водителю через наушники при появлении замедления "автомобиля". Частота сигнала прогрессивно возрастает с увеличением замедления, что вызывает у обучаемого неприятные ощущения.

Адекватность информационной модели тренажера и, в первую очередь, модели вестибулярного канала обратной связи (воздействие на слуховой анализатор вместо вестибулярного) проверяли экспериментально.

Тестирование проводили на группе испытуемых из восьми человек в возрасте 20-23 года и водительским стажем от 0 до 3 лет. Испытуемые выполняли две серии торможений на тренажере:

1) только с каналами визуальной обратной связи (без звукового сигнала);

2) с каналами визуальной обратной связи и со звуковым сигналом, частота которого повышалась с ростом замедления "автомобиля" (модель канала вестибулярной обратной связи).

В каждой серии испытуемые выполняли от 100 до 120 торможений четырех режимов (таблица 1), которые с помощью заложенного в программе генератора случайных чисел чередовались в случайном порядке.

Таблица 1 - Режимы служебного торможения при испытании

Режим торможения	Начальная скорость V_0 , км/ч	Среднее замедление по пути $J_s = \frac{V_0^2}{2S}$, м/с ²	Путь торможения S, м
1	40	1,5	40
2	40	2,5	24
3	50	1,5	64
4	50	2,5	40

Для оценки влияния порядка выполнения серий торможений эксперимент был частично рандомизирован [2]: половина испытуемых (4 человека) сначала выполняла первую серию торможений, а затем вторую, а вторая половина испытуемых сначала выполняла вторую серию торможений, а затем первую.

При тестировании фиксировали следующие показатели каждого торможения:

1) максимальное замедление J_{MAX} , характеризующее плавность торможения (чем ниже J_{MAX} , тем более плавно выполнено торможение);

2) абсолютное значение ошибки остановки автомобиля $|\Delta S|$ – отклонение от заданного пункта остановки автомобиля, характеризующее, в конечном счете, безопасность движения.

Более низкие значения показателей соответствует более плавному и точному выполнению торможений. Результаты испытаний для каждого испытуемого представлены средними значениями максимального замедления \bar{J}_{MAX} в таблице 2 и на рисунке 4 и средними значениями ошибки остановки $|\Delta \bar{S}|$ – в таблице 3 и на рисунке 5. Все испытуемые выполнили торможения лучше в случае предъявления звуковой информации. Проверка результатов испытаний критерием Стьюдента [3] показала их статистическую значимость на уровне 5 % (критическое значение t -критерия 1,96).

Таблица 2 - Результаты оценки плавности торможения по максимальному замедлению

Параметр		Испытуемый							
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
Среднее значение максимального замедления \bar{J}_{MAX} , м/с ²	Без звука	4,97	5,21	4,79	4,25	4,45	4,53	5,26	5,42
	Со звуком	4,33	4,88	4,44	3,99	4,13	4,31	4,83	4,48
Среднеквадратичное отклонение σ , м/с ²	Без звука	1,39	0,99	1,20	0,89	1,07	0,87	1,08	1,07
	Со звуком	0,90	0,97	1,16	0,86	1,13	0,63	1,29	1,05
Расчетное значение t -критерия		3,89	2,33	2,07	2,13	2,03	2,04	2,52	6,31

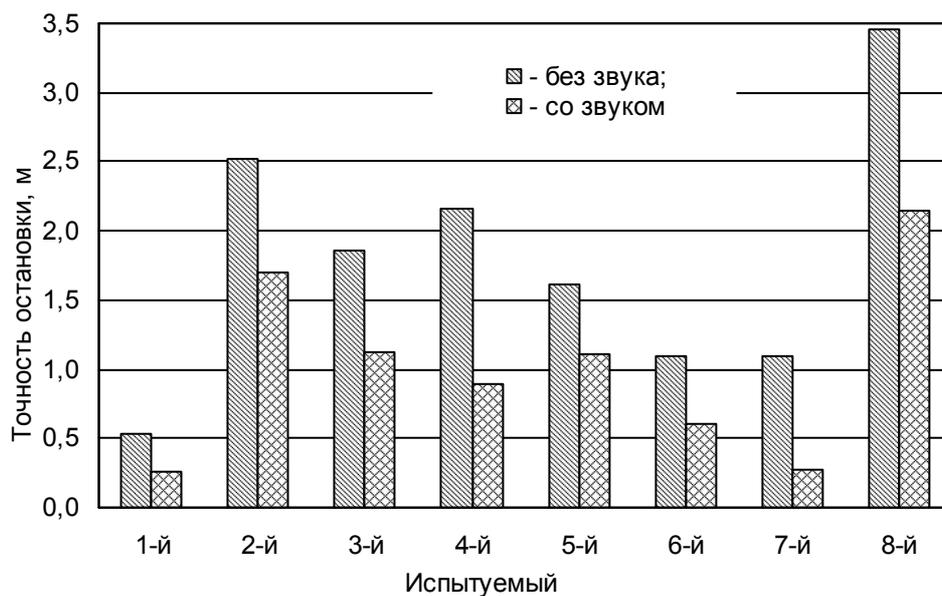


Рис. 4. Влияние звука на точность остановки

Таблица 3 - Результаты оценки точности выполнения торможения по величине ошибки остановки

Параметр		Испытуемый							
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
Среднее абсолютное значение ошибки остановки $ \Delta\bar{S} $, м	Без звука	0,53	2,52	1,86	2,17	1,62	1,09	1,10	3,45
	Со звуком	0,25	1,71	1,13	0,89	1,11	0,61	0,27	2,15
Среднеквадратичное отклонение σ , м	Без звука	0,84	1,96	1,63	2,08	1,40	1,55	1,09	2,58
	Со звуком	0,28	1,87	1,57	0,90	1,00	0,82	0,42	2,00
Расчетное значение t -критерия		3,13	3,03	3,23	5,62	2,93	2,75	7,09	2,90

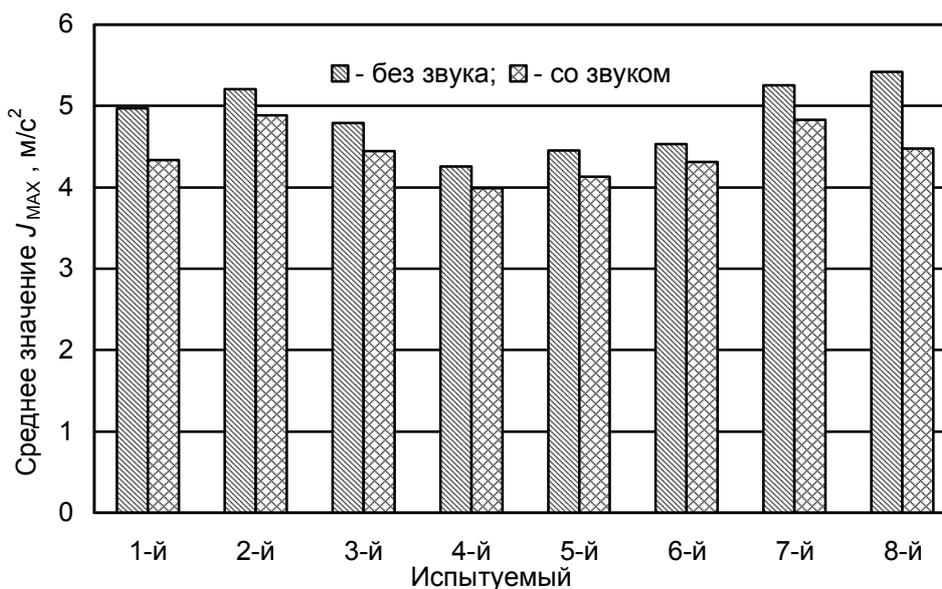


Рис. 5. Влияние звука на уровень среднего максимального замедления

Результаты эксперимента показали: средние значения показателей отличаются друг от друга, применение звуковой информации вызывает снижение значений показателей. Проверка полученных результатов критерием Стьюдента показала их статистическую значимость на уровне 5 % (критическое значение t -критерия 1,96).

Таким образом, эксперимент, в первом приближении, подтвердил правильность предложенной информационной модели тренажера, в которой в качестве канала вестибулярной обратной связи используется аудио канал.

Экспериментальная проверка работоспособности тренажера

Цель экспериментальной проверки – определение наличия или отсутствия обучающего эффекта разработанного тренажера, т.е. проверка обеспечения формирования навыка, управления служебным торможением автомобиля при обучении на предложенном тренажере.

Из инженерной психологии известно [4], что в процессе выработки навыка качество управления сначала повышается, а затем достигает установившегося уровня ("плато обучения"), после чего дальнейшее обучение становится неэффективным. Графическое изображение процесса выработки навыка показано на рисунке 6, где снижение некоего критерия соответствует повышению качества управления с ростом числа n повторов операции управления.

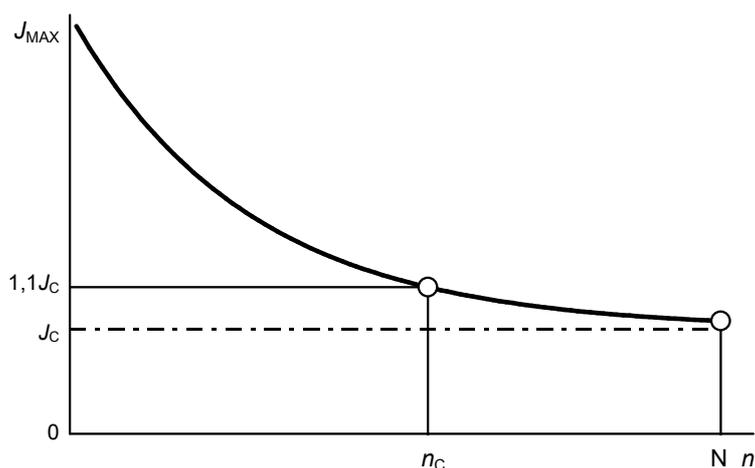


Рис. 6. Кривая обучения

Качество служебного торможения определяется плавностью его выполнения, характеризующей комфортабельность поездки, что наиболее актуально для транспортных средств общего пользования.

Однако в отсутствие каких-либо ограничений торможение всегда можно выполнить сколь угодно плавно. Например, остановка автомобиля на прямой горизонтальной дороге в отсутствие других участников движения без конкретизации требуемого пункта остановки. Такие торможения – крайне редкое явление. Обычно торможения совершаются на ограниченном тормозном пути. Это либо расстояние, на котором требуется снизить скорость до требуемого уровня согласно дорожной ситуации, либо требуемый пункт остановки и т.д.

В конечном счете, точность остановки автомобиля характеризует безопасность движе-

ния, так как является косвенной оценкой вероятности попутных столкновений автомобилей, например, при торможении транспортного потока на запрещающий сигнал светофора, или при подаче автобуса на остановку, где уже находится другое транспортное средство.

Таким образом, задача обучения служебному торможению по существу является задачей оптимизации в условиях ограничения. Применительно к служебному торможению с остановкой в заданном пункте задачу можно формализовать:

$$J_{\text{MAX}} \rightarrow \min; |\Delta S| \leq 0,5, \quad (4)$$

где J_{MAX} – критерий оптимизации – максимальный уровень замедления автомобиля в процессе торможения; чем ниже максимальное замедление J_{MAX} , тем торможение выполнено более плавно;

ΔS – ограничение, накладываемое точностью остановки ($\pm 0,5$ м) – расстояние между заданным и фактическим пунктами остановки (ошибка остановки).

В этом случае процесс выработки навыка управления служебным торможением автомобиля, показанный графиком на рисунке 6, можно записать уравнением экспоненциальной функции вида [4]:

$$J_{\text{оп}}(n) = J_C + (J_H - J_C)e^{-\alpha n}, \quad (5)$$

Таблица 4 - Сведения об испытуемых

Испытуемый	Возраст, год	Стаж вождения, год
1-й	22	0
2-й	23	3
3-й	22	5
4-й	20	0
5-й	22	3
6-й	20	0
7-й	22	1
8-й	23	2

Эксперимент проводился по той же методике, что и при проверке информационной модели тренажера (см. выше). Испытуемые выполняли торможения четырех режимов, чередовавшихся в случайном порядке. Каждый испытуемый выполнял десять пробных и сто зачетных торможений на тренажере. В процессе эксперимента регистрировали максимальное замедление J_{MAX} и ошибку остановки ΔS в каждом торможении.

Для торможений, удовлетворяющих ограничению (1) $|\Delta S| \leq 0,5$, строили зависимости $J_{\text{MAX}}(n)$ (рисунок 7, точки), полученные зависимости подвергались скользящему линейному сглаживанию по трем точкам [5] (штриховые линии).

Конечным этапом обработки была аппроксимация сглаженных экспериментальных кривых $\tilde{J}_{\text{MAX}}(n)$ уравнением (2), которое было преобразовано к виду:

$$J_{\text{MAX}} = J_C + (J_H - J_C)e^{-\alpha(n-5)}. \quad (6)$$

Сдвиг аргумента $(n - 5)$ обусловлен тем, что начальный J_H и стабилизированный J_C уровни максимального замедления J_{MAX} находили как среднее значение максимального

где J_C – стационарное значение максимального замедления;

J_H – исходное (начальное) значение максимального замедления;

α – скорость обучения;

n – число "торможений" на тренажере.

Для определения времени формирования навыка плавного торможения (количества "торможений") на тренажере, была набрана группа из восьми испытуемых в возрасте 20-22 года со стажем вождения автомобиля 0-5 лет (таблица 4).

замедления J_{MAX} в десяти первых и десяти последних торможениях соответственно:

$$J_H = \frac{1}{10} \sum_1^{10} J_i; \quad J_C = \frac{1}{10} \sum_{N-9}^N J_i; \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (7)$$

Показатель скорости обучения α находили интерполяционным методом [5], по координатам точки $(n_x; J_x)$, ордината которой выбиралась в диапазоне $[(0,3 \dots 0,7)(J_H - J_C)]$. Значение J_x находили как среднее значение максимального замедления десяти последовательных торможений аналогично уравнениям (7). Таким образом,

$$\alpha = \frac{1}{n-5} \ln \left(\frac{J_H - J_C}{J_x - J_C} \right). \quad (8)$$

Линии обучаемости (6) $\tilde{J}_{\text{MAX}}(n)$ восьми испытуемых, построенные с использованием выражений (7) и (8), показаны на рисунке 7 сплошными линиями. Из диаграмм видно, что в начале тренировок испытуемые совершали торможения с высоким уровнем максимального замедления, который постепенно снижался с ростом числа n тренировочных торможений и достигал некоторого стабилизированного значения J_C .

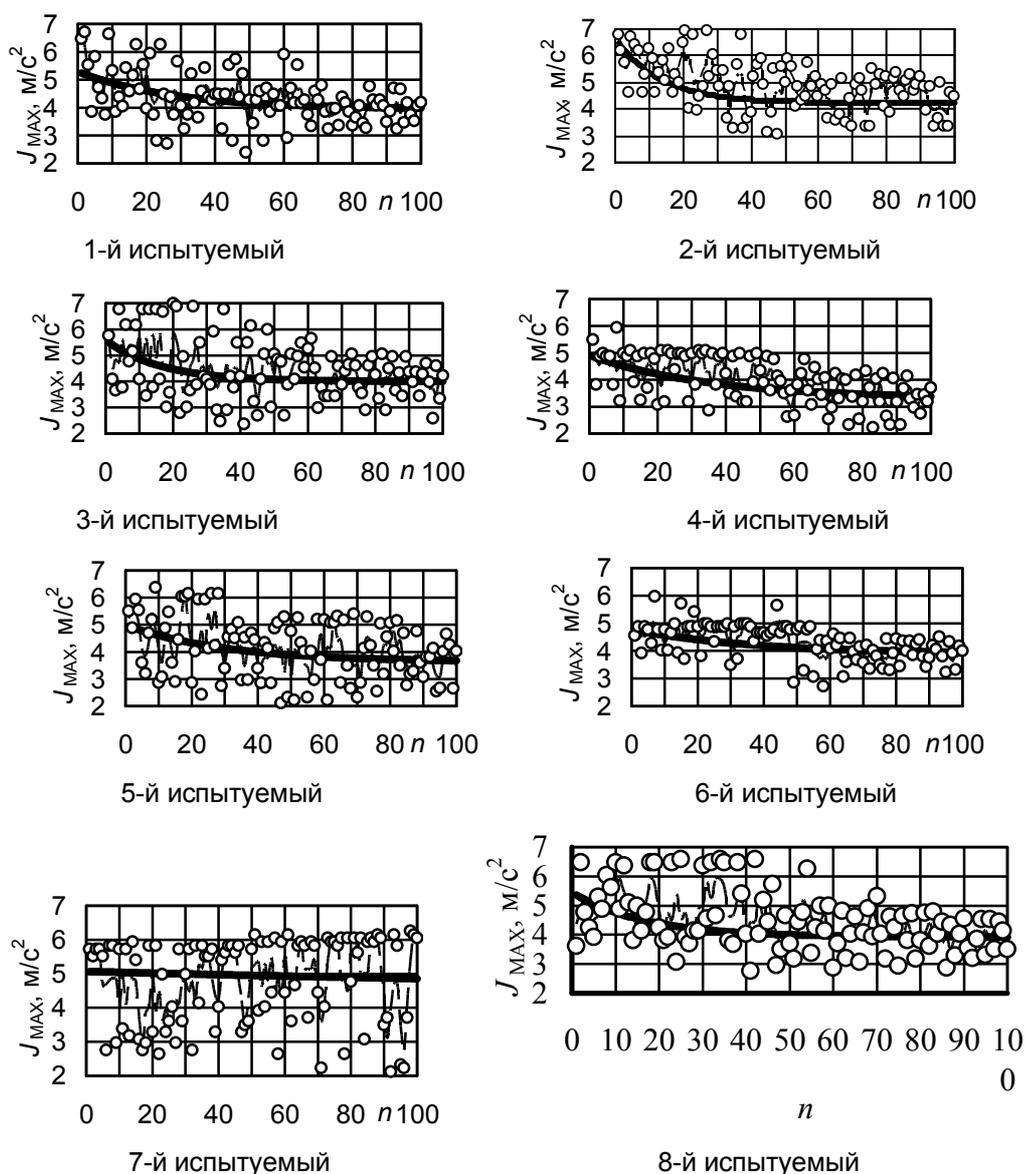


Рис. 7. Изменения максимального замедления J_{MAX} в процессе тренировки на тренажере

В первом приближении, было принято, что критерий качества стабилизируется (начало "плато обучения"), когда его среднее значение \tilde{J}_{MAX} снижается до уровня, превышающего стабилизированный уровень J_C на 10 %:

$$\tilde{J}_{MAX} = 1,1J_C. \quad (9)$$

Подставив условие (9) в уравнение (6) и решив его относительно аргумента, получим уравнение числа торможений n_C , начиная с которого процесс обучения стабилизируется:

$$n_C = 5 + \frac{1}{\alpha} \ln \left[10 \left(\frac{J_H}{J_C} - 1 \right) \right]. \quad (10)$$

Рассчитанные значения n_C , полученные в сериях торможений семи испытуемых, показаны на рисунке 8 точками на линиях обучаемости. Как следует из графиков у всех испытуемых, за исключением испытуемого 7, наблюдался эффект обучения, который выразился в снижении максимального замедления J_{MAX} при торможении и его стабилизации в процессе тренировки на тренажере. Стабилизация показателя J_{MAX} у испытуемых достигалась при разном количестве торможений n_C (см. рисунок 8):

- наименьшее число торможений ($n_C = 22 \dots 23$) было у испытуемых 2, 3 и 8;

- наибольшее число ($n_C = 55$) – у испытуемого 4;
- у испытуемых 1; 5 и 6 число торможений n_C составило от 30 до 40 торможений;

- у испытуемого 7 эффект обучения отсутствовал.

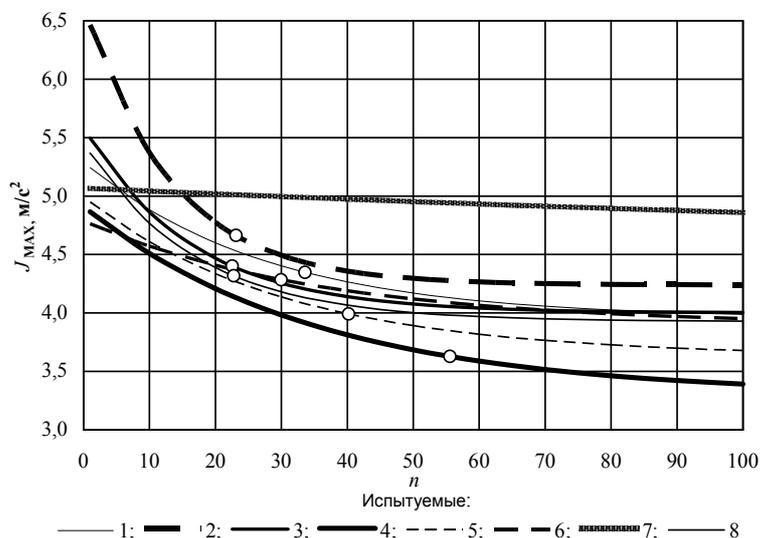


Рис. 8. Линия обучения испытуемых: точками показаны границы n_C "плато обучения"

Выводы

1. Анализ программ подготовки водителей показал, что они недостаточно отводят времени для выработки навыков управления служебным торможением автомобиля. Наиболее важными эти навыки являются для водителей пассажирского транспорта общего пользования, так как во многом определяют комфортабельность и безопасность поездки.

2. Специализированный автомобильный тренажер обучения навыкам служебного торможения до остановки в заданном пункте может быть построен с использованием упрощенной информационной модели визуальной информации, реализованной в виде двухкоординатного слежения в осях "расстояние до остановки – скорость автомобиля".

3. Экспериментально показано, что отсутствие вестибулярного канала обратной связи в предлагаемом тренажере может быть с достаточной для практики точностью компенсировано введением звукового канала обратной связи с прогрессивным изменением частоты тона в зависимости от уровня замедления автомобиля.

4. Экспериментальная проверка эффективности разработанного тренажера показала, что у семи из восьми испытуемых занятия на тренажере обеспечивали выработку навыка служебного торможения автомобиля с остановкой в заданном пункте. Число "торможений", при ко-

тором начинал проявляться эффект обучения, у разных испытуемых составило от 22 до 55.

5. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о работоспособности предлагаемого тренажера и возможности его использования в процессе подготовки и тренировки водителей.

Библиографический список

1. Примерная программа подготовки водителей транспортных средств категории "D". – Утверждена приказом Министерства образования и науки РФ от 18 июня 2010 г. № 636.
2. Математическая энциклопедия / редкол.: И. М. Виноградов (гл. ред.) и др. – Т. 4. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 1216 с.
3. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Большев Л. Н., Смирнов Н. В. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
4. Основы инженерной психологии: учебник / Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, В. Ф. Рубахин, Б. А. Смирнов; ред. Б. Ф. Ломова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.
5. Вержбицкий, В. М. Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения: учеб. пособие для вузов / В. М. Вержбицкий. – М.: Высшая школа, 2001. – 180 с.

SIMULATOR FOR THE TRAINING OF THE SERVICE BRAKING

A. V. Belyakova

The paper proposes an idea of using a simulator for exercising car progressive service braking. Information model of such a simulator is substantiated. Model adequacy is validated. Experimental check of simulator serviceability is presented in the article. Results of the experiments aimed at developing skills of smooth service braking by means of the simulator are shown. Analysis

of the results obtained with a group under test revealed the learning curve presence.

Белякова Александра Владимировна - старший преподаватель кафедры "Автомобили и тракторы" Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии СибАДИ. Основное направление научных исследований: вопросы обучения водителей с использованием тренажеров, исследование процесса служебного торможения автомобиля. Общее количество публикаций – 8. alexbelyakova@yandex.ru.

УДК 678.019.3:621.793.184:620.3

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ТОПОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ

П. Б. Гринберг, К. Н. Полещенко, Д. Н. Коротаев, Е. П. Целых

Аннотация. Рассмотрены вопросы влияния методов объемного и поверхностного модифицирования на эксплуатационные свойства резинотехнических изделий. Приведены результаты разработок нового класса покрытий – наноструктурных топокомпозитных покрытий применительно к повышению ресурса трибосопряжений. Показано, что нанесение топокомпозитных покрытий в наноразмерном диапазоне обеспечивает повышение комплекса эксплуатационных свойств резинотехнических изделий, не снижая их главной характеристики – эластичности.

Ключевые слова: объемное и поверхностное модифицирование, резинотехнические изделия, наноструктурные покрытия.

Введение

Резинотехнические изделия (РТИ) получили широкое применение практически во всех отраслях промышленности [1]. Ведущими отраслями, в которых РТИ наиболее востребованы, являются автомобилестроение, машиностроение, сельское хозяйство и др. Вместе с тем, требования к обеспечению повышенных эксплуатационных свойств резинотехнических изделий неуклонно возрастают. В связи с этим, в настоящее время возрастает потребность в разработке инновационных технологий, обеспечивающих повышение комплекса характеристик РТИ как для использования их в более широком диапазоне рабочих режимов, так и для применения в изделиях и агрегатах техники нового поколения.

Анализ технологических решений повышения ресурса РТИ. Эластомеры, к которым относится и резины, имеют структуру не характерную для неорганических веществ. Резины представляют собой термоактивный, пространственно сшитый сетчатый полимер с поперечными химическими связями между макромолекулами

каучука и введенными в невулканизированную смесь ингредиентами: наполнителями, вулканизирующими агентами и др. При этом лишь небольшая часть звеньев макромолекул оказывается «сшитой» между собой [2, 3].

Большинство марок резин характеризуются высокими коэффициентами трения, способностью к залипанию, недостаточной износостойкостью в узлах трения и герметизации [4]. Задача повышения износостойкости решается путем введения антифрикционных добавок в состав резиновой смеси (объемное или рецептурное модифицирование), либо путем модифицирования поверхности изделия. Объемное модифицирование требует изменения рецептуры резин, существенной корректировки технологии их производства.

Повышение прочности и износостойкости резинотехнических изделий (РТИ) к настоящему времени при объемном модифицировании достигается за счет всевозможных добавок в «сырую» резину перед вулканизацией [5-7].

Однако эти добавки приводят к незначительным эффектам, поскольку основные резервы повышения свойств РТИ, достигаемые путем реализации традиционных подходов, уже исчерпаны. Традиционные методы модифицирования эластомеров, ввиду воздействия на отдельные ингредиенты РТИ, входящие в рецептуры резин, при получении определенных характеристик имеют и ряд отрицательных явлений морфологического и физико-механического характера. Методы объемного модифицирования эластомеров позволяют получать резины, работающие в среднеагрессивных средах в диапазонах температур по верхнему пределу до 350°C, но при этом резко снижается эластичность, прочность, повышается склонность к схватыванию с рабочими поверхностями прессформ. Наиболее значимыми для решения указанных проблем становятся нанотехнологии объемной модификации резин [8, 9]. В качестве модификаторов вводят различные наноконпозиции на основе полимеров, металлов, керамик. Однако данное направление находится на стадии лабораторных исследований и сдерживается дороговизной получения наномодификаторов.

Преимуществом поверхностного модифицирования является возможность обрабатывать уже готовые РТИ без изменения технологии их производства. Такой подход позволяет получать качественно иные материалы на основе известных эластомеров с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами.

При известном поверхностном плазмохимическом модифицировании [10] инициированные химические превращения на поверхности резины приводят к морфологическим изменениям материала. Микроскопические исследования структуры модифицированных резин на разных стадиях их модифицирования показали, что рельеф плазмообработанного резинотехнического изделия формируется в результате специфического действия разряда на различные ингредиенты, входящие в рецептуры резин. В связи с тем, что плазмо-модифицирование поверхности достаточно длительно, воздействие на отдельные ингредиенты носит отрицательный характер, а в процессе трения под воздействием нагрузки может привести к созданию каверн, вырывам и «скатыванию» поверхностного слоя.

Ионно-плазменное модифицирование РТИ. Формирование на рабочих поверхностях

резинотехнических изделий наноструктурных покрытий может рассматриваться в качестве эффективного решения проблем повышения их эксплуатационных свойств. Однако, если нанесение наноструктурных покрытий на металлические и композиционные материалы положительно зарекомендовало себя, то возможность нанесения наноструктурных покрытий на эластомеры, в частности, на резинотехнические изделия, появилась лишь после модернизации установок ионно-вакуумного напыления, позволившей снизить температуру процесса до температур значительно ниже критических для эластомеров и резко увеличить скорость проведения процесса.

К настоящему времени коллективом авторов проведены исследования структуры и эксплуатационных свойств резиновых изделий с покрытиями различных составов и толщины нанометрового размера. Анализ полученных результатов позволил реализовать идею конструирования нового класса покрытий – наноструктурных топокомпозиционных покрытий (НСТП) и разработать методики и технологии их получения посредством ионно-плазменной обработки.

Топокомпозиционные и наноструктурные топокомпозиционные покрытия. Трудными зарубежными и отечественными учеными развивается новое научное направление – surface engineering [11], ориентированное на создание твердых объектов с тонкими покрытиями и модифицированными слоями, получивших название топокомпозиционных [12, 13]. Развитие этого направления позволяет по иному подойти к проблеме обеспечения несущей способности контактных поверхностей изделий, в частности, к формированию топологии поверхности и выбору толщины модифицированных слоев изделий. Данное направление, изучающее получение топокомпозиционных и включающее в себя технологию создания и расчет оптимальной конструкции поверхностного слоя, ориентировано на конструирование данного класса материалов посредством апробированных и новых технологий нанесения покрытий и модифицирования поверхностных слоев, в том числе и гибридных. Сущность гибридных технологий заключается в совмещении в одном технологическом процессе модифицирования поверхностных слоев от воздействия двух или более потоков вещества с разными энергетическими характеристиками. Использование гибридных технологий позволяет осуществлять как внедрение атомов вещества,

так и их осаждение на обрабатываемую поверхность с формированием наноструктурных слоев. Научный и практический интерес к наноструктурам обусловлен обнаруженными эффектами значительного повышения химических, физико-механических и трибологических свойств наноструктурных материалов, пленок и покрытий [14]. Создание нанокристаллических пленок и покрытий в настоящее время является одним из перспективных направлений наноматериаловедения, поскольку в них могут быть сформированы зерна с размерами до 3-5 нм, что практически недостижимо путем наноструктурирования материалов методами порошковой металлургии [15]. Кроме того, высокая дефектность зерен и их границ могут рассматриваться в качестве важных факторов получения наноструктурных покрытий с повышенной адгезионной прочностью к материалу основы. Наноразмерные покрытия представляют собой новое поколение материалов. Они сформированы, по крайней мере, двумя отдельными фазами с нанокристаллической или с аморфной структурами. Наноразмерные материалы состоят из зерен с линейными размерами порядка 10 нм и более, которые окружает развитая граница. Наиболее предпочтительной моделью трибоструктурного состояния является градиентная структура поверхностных слоев с плавно изменяющимися свойствами по глубине при наличии нанодисперсных фаз в тонком поверхностном слое. При этом сдвиговая неустойчивость слоистой структуры в условиях трения будет проявляться при одновременном выполнении условия сочетания «жесткой» границы между покрытием и основой, и наличия «нежестких границ» между слоями покрытия. Создание поверхностных слоев с изменяющимися по глубине свойствами может обеспечить развитие релаксационных и адаптивных процессов при трибоконтакте. Тем самым формирование слоистой структуры с различными сдвиговыми характеристиками поверхностных слоев может наиболее эффективно способствовать понижению размера деформируемых объемов и, тем самым, снижению уровня пиковых напряжений в условиях эксплуатации модифицированных конструктивных элементов. Исходя из изложенных положений, авторами разработан подход к конструированию наноструктурных топокомпозитных покрытий, основанный на совместном развитии представлений о влиянии топологических особенностей контактных поверхностей трибосопряжений и их наноструктурного состояния, изменяющегося по глубине, на несущую способность изделий. Реализация указанного подхода возможна путем формиро-

вания сетчато-связанной системы ингредиентов в виде наночастиц металлов с низкими коэффициентами трения, которые уже при незначительной поверхностной концентрации наночастиц могут приводить к существенному снижению коэффициента трения скольжения поверхностных слоев модифицированных изделий.

Метод получения наноструктурных топокомпозитных покрытий. Для получения наноструктурных покрытий была проведена модернизация ионно-плазменной установки ИИВ-6.6. В рабочую камеру помещена специальная конструкция трехкатодной системы, обеспечивающая комбинированное ионно-плазменное воздействие на обрабатываемую поверхность под различными углами. Создание данной конструкции позволяет осуществлять как последовательное распыление поверхности образца, так и обработку тремя потоками плазмы, генерируемой за счет одновременного распыления трех катодов. Подобная конструкция дает возможность перемешивания потоков плазмы для эффективного распыления обрабатываемой поверхности за счет образования многозарядных кластеров и минимизировать вероятность формирования капельной фазы. Предлагаемый метод поверхностного упрочнения РТИ заключается в следующем. Готовое изделие устанавливается в камеру вакуумной установки для ионно-плазменного нанесения покрытия. Процесс нанесения покрытия включает очистку изделий в вакууме путем ионно-плазменного травления, нагрев поверхности изделия до температур на 40-50°C ниже температуры вулканизации с последующим нанесением покрытий контролируемой толщины путем бомбардировки его поверхности ионами металла. Время непосредственной конденсации покрытия толщиной 1-100 нм занимает не более 20-200 сек., что исключает негативное термическое влияние процесса на изделие. В результате обработки поверхности образуются покрытия таких металлов, как титан, хром, цирконий, медь, молибден, алюминий, как в чистом виде, так и в виде соединений металлов с азотом, углеродом и кислородом.

Наноструктурные покрытия, представляющие из себя практически нанодисперсные материалы с увеличенной площадью межзеренных границ имеют более сбалансированное соотношение между твердостью, оказывающей определяющее влияние на износостойкость, и прочностными характеристиками материала покрытий, в том числе в условиях знакопеременных упругих деформаций и циклических термомеханических напряжений.

Свойства модифицированных РТИ. Нанесение наноструктурных топокомпозитных покрытий на резиновую подложку позволяет совместить одно из ключевых свойств, присущих резиновым уплотнителям, – эластичность, и, соответственно, способность длительно поддерживать оптимальный уровень контактного давления, с высокими показателями рабочих температур, маслобензостойкости, озоностойкости, стойкости против истирания, как в режиме сухого трения, так и при наличии различных смазок.

Известно, что первопричиной разрушения материалов с размерами зерен свыше 1 мкм является формирование трещин, возникающих вследствие концентрации дислокаций у различных дефектов. В наноструктурных ма-

териалах с размерами зерен менее 80–100 нм, а в отдельных случаях и до 300 нм, проявляется иной механизм разрушения. Для подобных материалов преобладающей причиной разрушения являются процессы на межзеренных границах, что связано с меньшим или сравнимым количеством атомов в зернах по сравнению с их количеством на границах [16].

Это подтверждается при нанесении нанопокровов не только на металлы, но и на резиновые изделия. Даже при увеличении в 200 раз можно видеть, что покрытия толщиной до 100 нм, сформированные в виде кластеров не разрушаются при растяжении, а на покрытиях свыше 160 нм наблюдаются характерные трещины, показанные на рис. 1.



Рис. 1. Морфология НСТП, нанесенного на поверхность износобензостойкой резины 1287НТА

В качестве базовой нанотехнологии принята технология осаждения наноразмерных частиц металлов в вакууме на подложку из эластомеров. Формирование покрытия происходит путем нанесения слоев наноразмерных частиц различных металлов или их карбидов, оксидов, нитридов. Толщина каждого слоя не превышает 10–20 нм. Практически, общая толщина покрытия ограничивается для резинотехнических изделий условиями сохранения эластичности, определяемой по относитель-

ному удлинению при разрыве. По этому критерию максимальная общая толщина покрытия ограничена 100–160 нм в зависимости от материала покрытия. По критерию изменения объема образца в разных средах положительные результаты получены в диапазоне толщин покрытия от 20 до 240 нм. По критерию относительной остаточной деформации положительные результаты получены в диапазоне толщин 20–160 нм. По критерию износостойкости положительные результаты полу-

чены в диапазоне 20–320 нм при различных скоростях и давлениях. Однако оптимальные результаты получены в диапазоне 20–100 нм.

В приведенной таблице содержатся данные, полученные при испытании стандартных образцов из резины марки ИРП-1287 одной

партии и резиновых уплотнительных колец по ГОСТ 9833-73, изготовленных из резины той же партии. Для каждого испытания приведены усредненные результаты испытаний. Толщина покрытия на всех образцах составляла 80 нм. Материал покрытия – CrMo.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов из резины марки ИРП-1287

Наименование показателей	Образцы с наноструктурным покрытием	Образцы без покрытия
Коэффициент сухого трения по стали при скорости 37,5 м/мин - нагрузка 2160 г - нагрузка 4530 г	0,41 0,56	0,84 1,16
Износ при сухом трении по стали за 120 мин при скорости 37,5 м/мин и нагрузке (в % к массе изделия) - нагрузка 2160 г - нагрузка 4530 г	0,002 0,008	0,022 0,141
Относительное удлинение при разрыве, %	150	130
Изменение объема (среда: ТС-1, время выдержки 24 часа, t=150°C), %	5,9	6,7
Изменение объема (среда: АМГ-10, время выдержки 24 часа, t=150°C), %	2,5	4,2
Относительная остаточная деформация (среда: воздух, время выдержки 24 часа, t=100°C), %	19,4	23,9
Истинная прочность при разрыве, МПа	169	152
Коэффициент морозостойкости	0,5	0,46
Температурный предел хрупкости	-72	-60

Преимущества предложенной технологии модификации уплотнительных резиновых элементов заключаются в следующем. Новая технология модификации резинотехнических изделий обеспечивает нанесение износостойкого наноструктурного металлопокрытия на основу при температуре, не превышающей 80–120°C. При этом полностью отсутствуют изменения физико-механических свойств подложки (изделия), а улучшение физико-механических свойств достигается только за счет наноструктурного покрытия. Время непосредственной конденсации покрытия толщиной 10–100 нм занимает не более 20–200 с, что исключает термическое влияние на основу материала. Микротвердость покрытия в пределах 10–100 нм отличается стабильностью по всей толщине.

Покрытие толщиной 10–100 нм конденсируется на поверхности резиновых изделий в виде нанокластеров, что способствует увеличению качественных характеристик резин: относительное удлинение при разрыве увеличивается до 10–20 %, истинная прочность растяжении – до 6–17 %, остаточная деформация после нагрева – до 12–24 %.

Установлено, что в пределах порядка 10–100 нм сплошного слоя покрытия металла на поверхности резины не возникает. Металл конденсируется в поверхностном слое в виде нанокластеров, разделенных прослойками основного материала – подложки (рис.2.). Тем не менее, при этом достигается существенное повышение износостойкости модифицированных резин (эффект нанокластеризации).

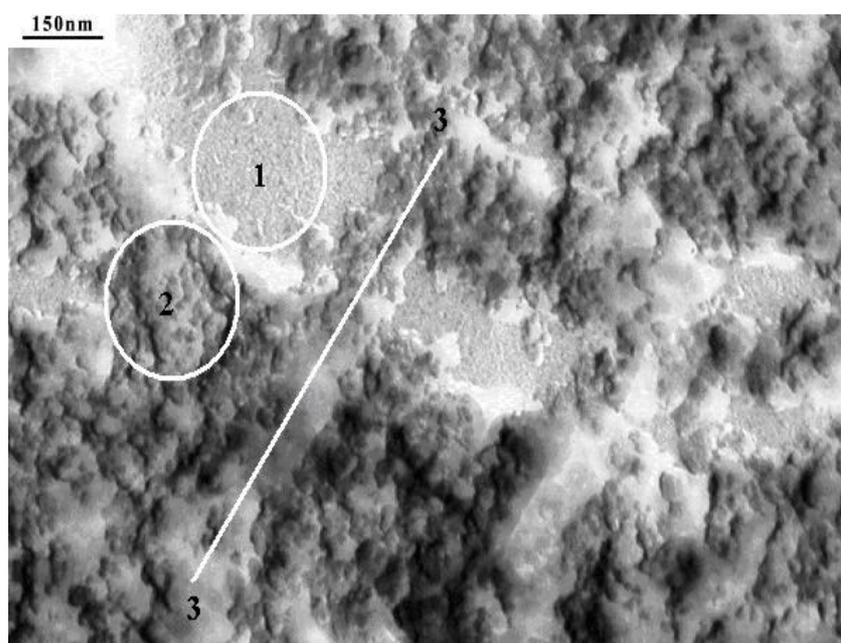


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение наноструктурного топокомпозитного покрытия; 1 – материал основы; 2 – покрытие; 3 – нанокластерные образования

Анализ результатов проведенных исследований показал, что повышение износостойкости, снижение теплонапряженности и контактных давлений, уменьшение энергоемкости систем с модифицированными резинотехническими деталями достигаются за счет:

- повышения модуля упругости поверхностного слоя и, как следствие, увеличения твердости и контактной прочности;
- снижения коэффициента трения по металлу до 2-х и более раз;
- снижения температуры контакта и, как следствие, исключение термодеструкции резины.

Эффективность разработанной технологии заключается в том, что нанесение на поверхность эластичных резиновых изделий наноструктурных твердых металлических покрытий в нанометровом диапазоне, не снижая главной характеристики РТИ – эластичности, одновременно улучшает практически все другие значимые характеристики. При этом толщина покрытий варьируется в пределах от 10 до 100 нм в зависимости от условий эксплуатации, а ресурс увеличивается в зависимости от материала покрытий и условий эксплуатации до 10-30 раз.

Заключение

По результатам оценочных испытаний были установлены режимы эксплуатации, при которых эластичность РТИ не только оставалась на прежнем уровне, но и повышалась. Подобные эффекты помимо научной значи-

мости имеют и большое практическое значение. Поэтому проведение дальнейших исследований будет направлено на изучение деформационного поведения модифицированных РТИ, связанное с обнаруженным эффектом нанокластеризации, обеспечивающим повышение их ресурса. Кроме того, наноструктурные топокомпозитные покрытия могут быть использованы для решения технологических задач повышения пожароустойчивости; теплостойкости; радиационной стойкости; повышения ресурса в условиях вибрации; снижения температуры хрупкости; защиты от электромагнитного излучения резинотехнических изделий и конструктивных элементов машин и агрегатов на основе эластомеров.

Библиографический список

1. Дзюра Е. А. Свойства и применение в пневматических шинах резин, армированных короткими отрезками различной природы / Е. А. Дзюра, А. Л. Серебро. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1978. - 62 с.
2. Кирпичников П. А. Химия и технология синтетического каучука. / П. А. Кирпичников, Л. А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович. Л.: Химия, 1987. 424 с.
3. Кошелев Ф. Ф. Общая технология резины / Ф. Ф. Кошелев, А. Ф. Корнев, А. М. Буканов. Изд. 4-е перераб. и доп. М.: Химия, 1978. 528 с.
4. Шайдаков В. В. Свойства и испытания резин / В. В. Шайдаков. М.: Химия, 2002. 227с.
5. Никулин С. С. Свойства резин, содержащих низкомолекулярные сополимеры, полученные из отходов нефтехимии / С. С. Никулин, А. И. Дмитренко, А. А. Рыльков // Проблемы шин и резино-

кордных композитов. Задачи на пороге XIX века. VII симпозиум.- Москва, 1996. С.148–152.

6. Ривин Э.М. Синтетические каучуки общего назначения / Э. М. Ривин, Л. О. Дымент, Б. А. Кузнецова. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1982. 61 с.

7. Глазков С. С. Синтез полимерных продуктов на основе кубовых остатков и акриловых мономеров / С. С. Глазков, С. С. Никулин, А. И. Дмитренко // Экологические проблемы производства синтетических каучуков. Всесоюз. науч.-техн. конф. Москва, 1990. С. 78.

8. Соколова М. Д. Полимерная наноконпозиция как модификатор бутадиен-нитрильных резин уплотнительного назначения / М. Д. Соколова, И. В. Баранец, А. С. Рамш, М. Л. Ларионова // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. Выпуск 2/2007 URL: <http://www.ogbus.ru> (дата обращения 15.01.12)

9. Охлопкова А. А. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями / А. А. Охлопкова, А. В. Виноградов, Л. С. Пинчук. Гомель: ИММС НАНБ, 1999. 164 с.

10. Абдрашитов Э. Ф. Исследование структуры поверхности плазмомодифицированных резин / Э. Ф. Абдрашитов и др. // Трение и износ. 2002. № 23(1).

11. Bell T. Towards Designer Surfaces / T. Bell // Industrial Lubrication and Tribology. 1992. Vol. 44. № 1, P. 3-11.

12. Современная трибология: Итоги и перспективы. Отв. Ред. К.В. Фролов. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.

13. Воронин Н. А. Топокомпозиаты – новый класс конструкционных материалов триботехнического назначения. Ч. 1 / Н. А. Воронин // Трение и износ. 1999. Т. 20. № 3. С. 313-320.

14. Панин В. Е. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурированных покрытий – эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов / В. Е. Панин, В. П. Сергеев, А. В. Панин, Ю. И. Почивалов // Физика металлов и металловедение. 2007. Т.104, №6, с.650-660.

15. Панин В. Е. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий / В. Е. Панин, В. П. Сергеев, А. В. Панин. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 286с.

16. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / Гусев А. И.- М.: Физматлит, 2007.

NANOSTRUCTURAL TOPOKOMPOZITNYE OF THE COVERING FOR THE TRIBOSOPRYAZHENYNS RUBBER CONSTRUCTIVE ELEMENTS

P. B. Grinberg, K. N. Poleshchenko, D. N. Korotaev, Y. P. Tselih

The analysis of efficiency of methods of volume and superficial modifying rubber-technical products is carried out. Influence of spraying of ionic-plasma coverings on morphological changes of coverage of the rubber-technical products is investigated. Efficiency of the developed technology of spraying on a surface of rubber products nanostructured firm coverings in nanosized range which without reducing their main characteristic – elasticity is proved, leads to improvement of other operational characteristics.

Гринберг Петр Борисович - Генеральный директор Омского научно-исследовательского института организации и технологии производства двигателей (НИИД). Основные направления научной деятельности: процессы и технологии ионно-плазменного модифицирования материалов и изделий. Общее количество опубликованных работ: 160. e-mail: oniid@mail.ru.

Полещенко Константин Николаевич - доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник Омского научно-исследовательского института организации и технологии производства двигателей (НИИД). Основные направления научной деятельности: физическое материаловедение. Общее количество опубликованных работ: 200. e-mail: k_poleschenko@mail.ru

Коротаев Дмитрий Николаевич - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). Общее количество опубликованных работ: 80. e-mail: drums99@mail.ru

Целых Елена Петровна - инженер – механик ФГУП научно-производственное предприятие «Прогресс». Основные направления научной деятельности: полимерное материаловедение. e-mail: elencelyk@mail.ru.

УДК 629.033

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЫХЛИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА

В. Ю. Иванов

Аннотация. Статья посвящена вопросу моделирования сложной динамической системы рыхлительного агрегата, оснащенного системой автоматического управления заглублением рабочего органа. Приведены результаты исследования рассматриваемой математической модели.

Ключевые слова: рыхлительный агрегат, рыхлитель, положение рабочего органа. Загрузка двигателя, линейная скорость, трансмиссия, шток гидроцилиндра.

Введение

Одним из основных видов машин, осуществляющих разработку прочных, мерзлых и скальных грунтов являются рыхлительные агрегаты (РА) на базе гусеничных тракторов, рабочий процесс которых характеризуется

наименьшей энергоемкостью процесса разрушения грунта. [1]

На рисунке 1 представлена математическая модель сложной динамической системы рыхлительного агрегата, составленная и исследуемая в программном комплексе MATLAB Simulink.

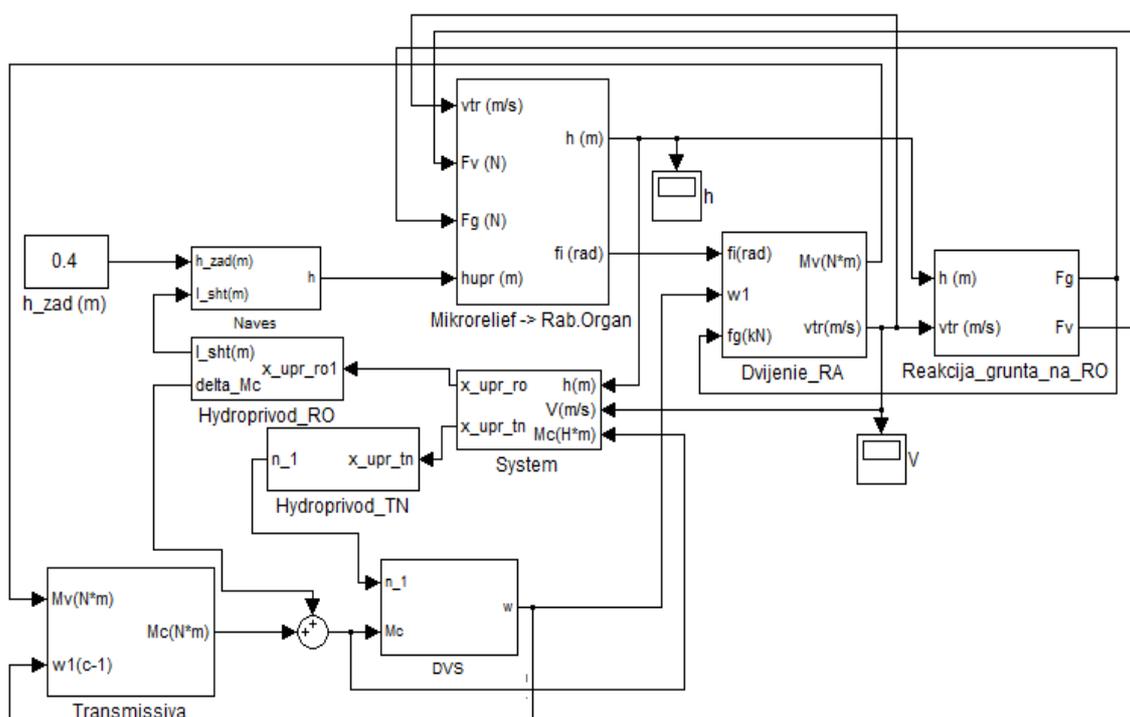


Рис. 1. Математическая модель сложной динамической системы рыхлительного агрегата в обозначениях MATLAB Simulink

Представленная математическая модель оборудована двухконтурной системой автоматического управления положением рабочего органа, которая состоит из блоков: навесное оборудование (Naves); влияние микро рельефа на положение рабочего органа (Mikrorelief→Rab. Organ); двигатель внутреннего сгорания (DVS); трансмиссия (Transmis-

siya); движение рыхлительного агрегата (Dvijenje_RA); реакция грунта на рабочий орган (Reakcija_grunta_na_RO); система управления (System); гидропривод рабочего органа (Hydroprivod_RO); гидропривод управления подачей топлива (Hydroprivod_TN).

Входным параметром системы является задатчик требуемого положения рабочего ор-

гана (РО) рыхлительного агрегата ($h_{\text{зад}}$), выходными параметрами текущее положение РО (h) и линейная скорость перемещения (V).

На качество работы контура управления ДВС влияет коэффициент пропорциональности регулирования частоты вращения δ ,

$$\delta = \frac{\Delta n_{\text{ТН}}}{\Delta X_{\text{ШТ}}}, \quad (1)$$

где $\Delta n_{\text{ТН}}$ - изменение настройки регулятора по частоте (об/мин), $\Delta X_{\text{ШТ}}$ - перемещение штока управляющего гидроцилиндра (м).

Параметр δ характеризует коэффициент передачи рычажного механизма механического регулятора частоты вращения ДВС.

В качестве критерия эффективности была установлена зависимость

$$W_{\text{эф}} = \Delta V(\delta, \tau_{\text{РО}}). \quad (2)$$

Целевая функция при этом

$$W_{\text{эф}} \rightarrow \min. \quad (3)$$

В результате исследований влияния времени запаздывания гидроприводов подъема-опускания РО ($\tau_{\text{РО}}$) и коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения на изменение отклонений линейной скорости перемещения от требуемого значения, были получены графики зависимостей для постоянных значений коэффициента пропорциональности регулирования частоты ДВС.

Таблица 1 - Зависимость ΔV от $\tau_{\text{РО}}$ и δ при $\tau_{\text{ТН}}=0,1$ с

δ \ $\tau_{\text{РО}}$	0,1	0,2	0,3	0,4
50	0,0075	0,0076	0,0079	0,0083
100	0,0056	0,0057	0,0058	0,0062
150	0,0043	0,0045	0,0047	0,005
200	0,0032	0,0029	0,0033	0,0034
250	0,0048	0,00512	0,0054	0,0057
300	0,0059	0,0063	0,0065	0,0068

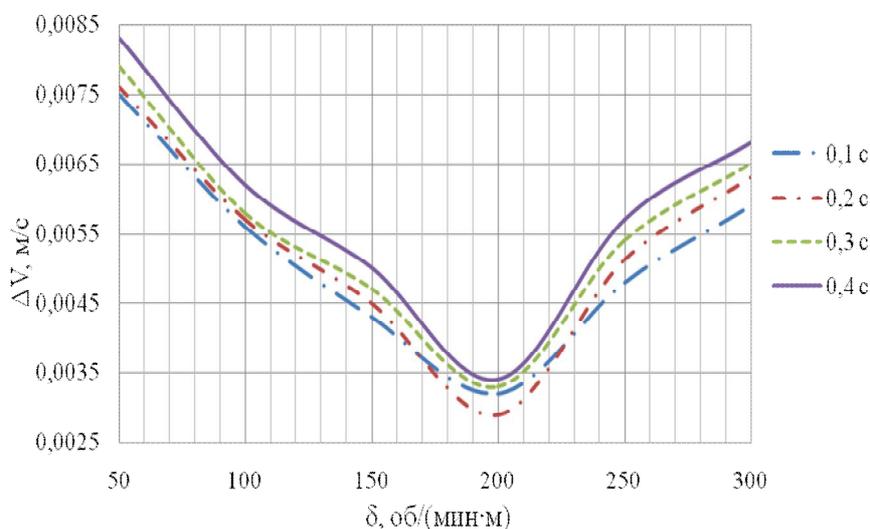


Рис. 2. График зависимости среднего значения отклонения линейной скорости перемещения от требуемого значения (ΔV) от коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения (δ) при различных значениях времени запаздывания ГП РО ($\tau_{\text{РО}}$)

Из графика видно, что при варьировании времени запаздывания гидропривода $\tau_{\text{РО}}$ минимальные значения ΔV наблюдаются при минимальных значениях варьируемых параметров. Лишь при приближении к

коэффициенту пропорциональности регулирования частоты вращения, равному $\delta = 200$ об/(мин·м), минимум ΔV наблюдается при $\tau_{\text{РО}} = 0,2$ с.

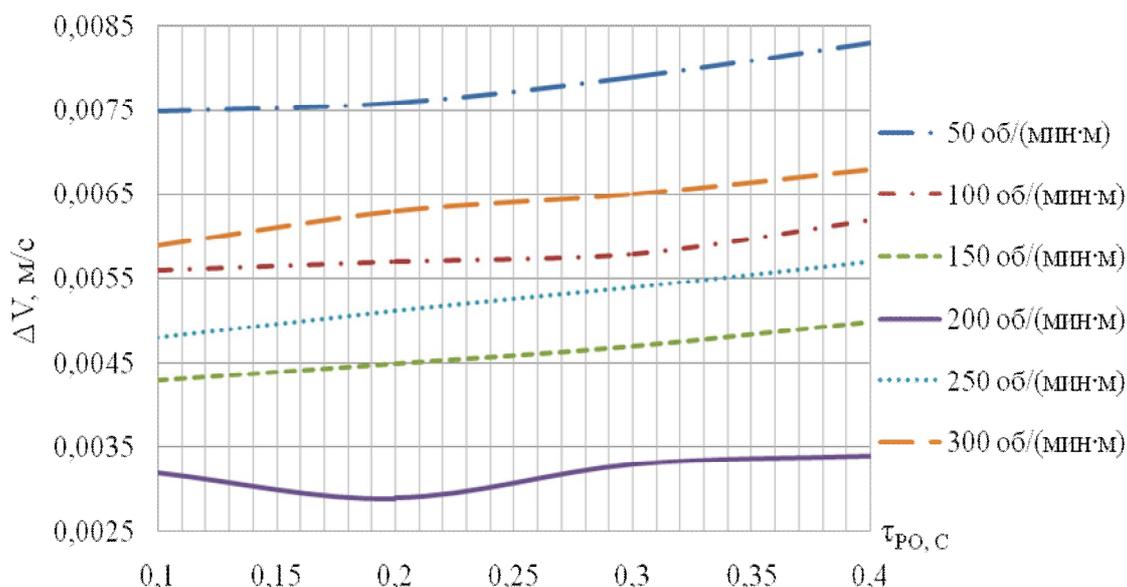


Рис. 3. График зависимости среднего значения отклонения линейной скорости перемещения от требуемого значения (ΔV) от времени запаздывания ГП РО (τ_{PO}) при различных значениях коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения (δ)

По данным таблицы 1 была построена поверхность, характеризующая зависимость среднего значения отклонения линейной скорости перемещения от требуемого значения

(ΔV) от изменения коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения (δ) и от времени запаздывания гидропривода подъема-опускания РО (τ_{PO}).

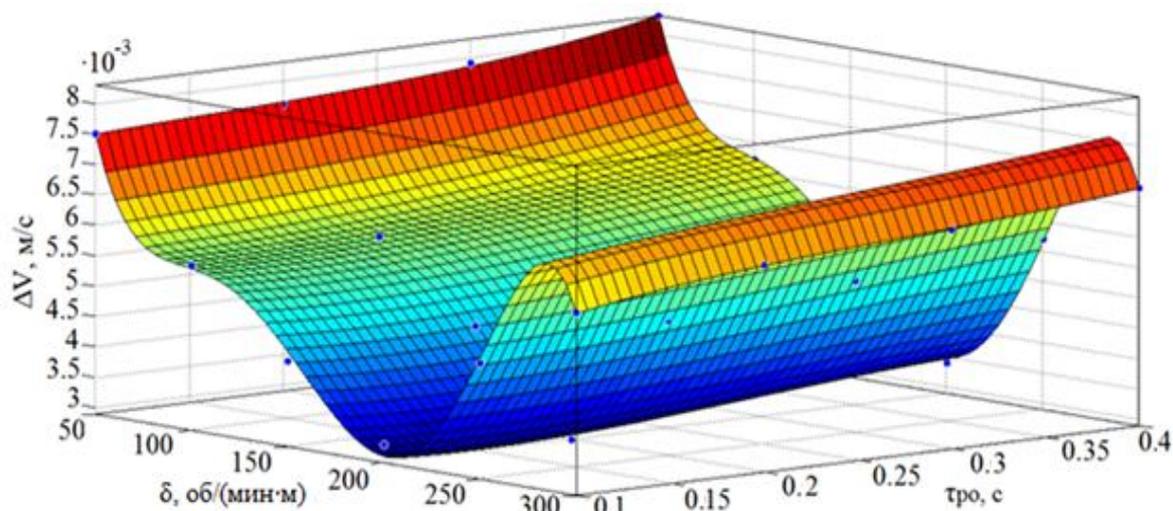


Рис. 4. График зависимости среднего значения отклонения линейной скорости перемещения от требуемого значения (ΔV) от изменения коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения (δ) и от времени запаздывания гидропривода подъема-опускания РО (τ_{PO})

Полученная зависимость была аппроксимирована методом наименьших квадратов, в результате чего получено уравнение регрессии

$$\begin{aligned} \Delta V(\delta, \tau_{PO}) = & 0,0286 - 0,0008958 \cdot \delta + 0,0124 \cdot \tau_{PO} + (1,326e - 005) \cdot \delta^2 - \\ & - 0,0001478 \cdot \delta \cdot \tau_{PO} - 0,068 \cdot \tau_{PO}^2 - (9,144e - 008) \cdot \delta^3 - (7,422e - 007) \cdot \delta^2 \cdot \tau_{PO} + \\ & + 0,001213 \cdot \delta \cdot \tau_{PO}^2 + 0,1053 \cdot \tau_{PO}^3 + (2,906e - 010) \cdot \delta^4 + (6,481e - 009) \cdot \delta^3 \cdot \tau_{PO} - \\ & - (3,081e - 006) \cdot \delta^2 \cdot \tau_{PO}^2 - 0,00175 \cdot \delta \cdot \tau_{PO}^3 - (3,427e - 013) \cdot \delta^5 - \\ & - (8,133e - 012) \cdot \delta^4 \cdot \tau_{PO} - (1,778e - 009) \cdot \delta^3 \cdot \tau_{PO}^2 + \\ & + (5,048e - 006) \cdot \delta^2 \cdot \tau_{PO}^3, R^2 = 0,997. \end{aligned} \quad (2)$$

Результаты оптимизации коэффициента пропорциональности регулирования частоты вращения (δ) и времени запаздывания гидропривода подъема-опускания РО (τ_{PO}) для рыхлительного агрегата: $\delta=200$ об/(мин·м), $\tau_{PO}=0,14$ с.

Заключение

В результате исследования математической модели сложной динамической системы рыхлительного агрегата было получено регрессионное уравнение, позволяющее проводить оптимизацию параметров двухконтурной системы управления в зависимости от выбранного критерия эффективности.

Библиографический список

1. Иванов В. Ю. Алгоритм двухконтурной системы автоматического управления положением рабочего органа рыхлительного агрегата// Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. - №10. – С. 40.

THE ALGORITHM OF THE AUTOMATIC TWO-LOOP POSITION CONTROL OF THE WORKING BODY LOOSENING ASSEMBLY

V. Y. Ivanov

The article focuses on modeling of complex dynamic systems ripper unit, equipped with an automatic control system Recessed working body. The results of the study of the mathematical model.

Иванов Владислав Юрьевич – аспирант кафедры «АПП и Э» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии». Основное направление научных исследований – система автоматизации проектирования «САПР»

УДК 625.76.08

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУЩЕНИЙ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МАШИН ДОРОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

В. Н. Иванов, Л. С. Трофимова

Аннотация. В статье выполнено обоснование допущений в математическом моделировании формирования и развития систем машин дорожных организаций при учёте рисков, обусловленными чрезвычайными событиями природного характера; рисков, связанных с влиянием человеческого фактора; социально-политических рисков; рисков, связанными с нестабильностью экономического законодательства и текущей экономической ситуацией, условиями инвестирования и использования прибыли.

Ключевые слова: математическое моделирование, дорожная машина, риски, инвестиционный проект, эффективность.

Введение

Эффективность формирования и развития систем машин дорожных организаций в значительной мере определяется оптимальностью принимаемых организационных решений. Наиболее действенным средством решений этой проблемы является математическое моделирование.

Формирование и развитие систем машин дорожных организаций ставят качественно новые задачи, главной из которых является учёт изменяющихся требований к качеству выполнения технологических процессов при соответствии предложения дорожной организацией спросу, существующем на рынке [1].

В. Б. Пермяков [2] делает вывод о том, что в настоящее время наиболее характерным недостатком при проектировании организации и механизации работ является слабое обоснование структуры комплектов машин. Во многих случаях его решение сводится к расчёту необходимого количества только ведущих машин по упрощённому методикам. Сопоставление возможных вариантов механизации строительного процесса или совсем не производится, или ограничивается двумя-тремя, что не может обеспечить оптимальности решения. Между тем убытки от недоиспользования потенциальных возможностей машин, входящих в комплекты, настолько значительны, что все решения в области организации производства работ должны быть не просто удачными, а оптимальными.

Основная часть

Математическая модель формирования и развития систем машин дорожных организаций представляет собой упрощение реальной ситуации, поэтому для её построения необходимо ввести допущения, позволяющие с одной стороны упростить реальную ситуацию, а с

другой облегчить последующее математическое описание. Существенное упрощение наступает лишь тогда, когда несущественные особенности отбрасываются и сложная исходная задача сводится к идеализированной задаче, которая поддаётся анализу. Такая идеальная задача считается хорошо приближенной к реальной ситуации.

Соответственно необходимо проанализировать реальную ситуацию, в которой осуществляется математическое моделирование. При любой производственной деятельности человек взаимодействует с природой. Природа создаёт условия для существования всего живого на земле, обеспечивает в определённых пределах устойчивость этих условий, служит источником всех ресурсов для развития человечества. Вместе с тем природные процессы и явления время от времени достигают своих экстремальных состояний, порождают негативные для жизни события и приводят к появлению рисков в хозяйственной деятельности всех организаций, в том числе и дорожных. К таким рискам, во-первых, относятся риски, обусловленные чрезвычайными событиями природного характера. Например, космогенный тип чрезвычайных событий, который характеризуется падением на землю астероидов, столкновением Земли с кометами, кометными ливнями, столкновением земли с метеоритами и болидными потоками не влияет на формирование парков машин и им можно пренебречь. Кроме космогенного типа чрезвычайных событий рассматриваются геофизические чрезвычайные события, геологические, метеорологические и агрометеорологические чрезвычайные события, морские гидрологические чрезвычайные события [4]. Для обоснования допущений была составлена таблица 1, в которой использованы данные источников [3, 4] для

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

определения районов возникновения чрезвычайных событий и их периодичности.

К самым сейсмически активным районам относится Памир и восточное побережье Камчатки. Средний интервал между землетрясе-

ниями интенсивностью в 7 баллов и выше не превышает 10-15 лет, для Закавказья – 15 - 30 лет [4].

Таблица 1– Классификация чрезвычайных событий природного характера

Тип чрезвычайного события	Вид чрезвычайного события	Обоснование допущений
Геофизические чрезвычайные события.	Землетрясения.	Самый сейсмически активный район Памир, восточное побережье Камчатки. Средний интервал между землетрясениями интенсивностью в 7 баллов и выше не превышает 10-15 лет, для Закавказья – 15-30 лет.
	Извержения вулканов.	Курилы, о. Итуруп, о. Парамушир. 5 населённых пунктов находятся в зоне вулканической опасности, 7- в зоне высокой опасности, 3 – в зоне катастрофической опасности.
Геологические чрезвычайные события.	Оползни.	Кавказ, горы Южных районов Сибири и юга дальнего Востока. Повторяемость, ед. в год: для чрезвычайно опасных (катастрофических) – 0,01-0,1 ед в год; для весьма опасных – 0,1-0,25 ед. в год; для опасных 0,25-0,75 ед. в год; для умеренно опасных – 1 ед. в год.
	Сели.	Кавказ, горы Южных районов Сибири и юга дальнего Востока. Повторяемость, ед. в год: для чрезвычайно опасных (катастрофических) – до 0,01 ед в год; для весьма опасных – 0,03-0,1 ед. в год; для опасных 0,1-0,2 ед. в год; для умеренно опасных – до 1 ед. в год.
	Лавины.	Районы Кавказа, Хибин, Сахалина. Один раз в 10-11 лет отмечается массовый сход лавин.
	Карст	Повторяемость, ед. в год: для весьма опасных – 0,1 ед. в год; для опасных до 0,1 ед. в год; для умеренно опасных – до 0,01 ед. в год.
Метеорологические и агрометеорологические чрезвычайные события.	Ураганы, смерчи (торнадо).	Повторяемость, ед. в год: для чрезвычайно опасных (катастрофических) – 0,001-0,01 ед в год; для весьма опасных – 0,01-0,02 ед. в год; для опасных 0,02-0,05 ед. в год; для умеренно опасных – 0,05-0,1 ед. в год.
Морские гидрологические чрезвычайные события.	Цунами	Повторяемость, ед. в год: для чрезвычайно опасных (катастрофических) – 0,001-0,01 ед. в год; для весьма опасных – 0,01-0,02 ед. в год; для опасных 0,02-0,05 ед. в год; для умеренно опасных – 0,05-0,1 ед. в год.
Гидрологические чрезвычайные события.	Наводнения	Повторяемость, ед. в год: для чрезвычайно опасных (катастрофических) – 0,001-0,01 ед в год; для весьма опасных – 0,01-0,02 ед. в год; для опасных 0,02-0,05 ед. в год; для умеренно опасных – 0,05-0,1 ед. в год.

Извержение вулканов происходит на о. Курилы, о. Итуруп, о. Парамушир. Пять населённых пунктов находятся в зоне вулканической опасности, семь – в зоне высокой опасности, три – в зоне катастрофической опасности. Оползни, сели, лавины характерны для Кавказа, гор Южных районов Сибири и юга дальнего Востока,

повторяемость умеренно опасных событий составляет не более 1 ед. в год для всех районов. Ураганы, смерчи (торнадо), цунами, наводнения повторяются не чаще 0,1 ед. в год.

Россия, будучи страной, с обширной территорией для целей проектирования и строительства дорог поделена на 5 районов (зон) с

более или менее однородными климатическими условиями. К первой зоне относят тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов, ко второй – зону лесов с избыточным увлажнением грунтов, к третьей – лесостепную географическую зону со значительным увлажнением грунтов в отдельные годы; к четвертой – зону с недостаточным увлажнением грунтов; к пятой – пустынную и пустынно-степную географические зоны с засушливым климатом и распространением засоленных грунтов. Кубань и западную часть Северного Кавказа относят к третьей дорожно-климатической зоне. Черноморское побережье, предкавказские степи, за исключением Кубани и западной части Северного Кавказа, к четвертой зоне; горные области, расположенные выше 1000 м над уровнем моря, а также малоизученные районы относят к той или иной зоне в зависимости от местных природных условий.

В связи с тем, что для вышеперечисленных чрезвычайных событий достаточно редкая повторяемость [3], то рисками, обусловленными чрезвычайными событиями природного характера можно пренебречь.

При проектировании сооружений величины климатических параметров применительно к конкретному населенному пункту должны соответствовать требованиям, определенным в строительной климатологией [3]. Допускается, что при математическом моделировании формирования и развития систем машин дорожных организаций, рисками, обусловленными изменением климатических параметров можно пренебречь.

Система машин дорожной организации состоит из единиц техники, каждая из которых рассматривается индивидуально и обладает эксплуатационными свойствами, влияющими на среду функционирования этой машины. Характеристики этих свойств должны соответствовать требованиям эксплуатационной документации, действующим нормам, правилам и стандартам в соответствии с требованиями безопасности жизнедеятельности. Например, социально значимые свойства включают в себя безопасность, эргономичность, экологичность и техническую эстетичность.

Наличие свойства безопасности у машин, составляющих технологический комплекс, по-

зволяет обеспечить устранение или сведение к минимуму последствий аварийных ситуаций при транспортировке, осуществлении рабочих процессов и техническом воздействии на машину. При несоответствии характеристик этого свойства номинальным значениям или требованиям нормативных документов велика вероятность аварии, угрозы здоровью и жизни операторов-машинистов, а также порчи имущества или снижения эффективности работы машины. Допускается, что для обеспечения безопасности конструкция каждой машины соответствует эксплуатационной документации по ГОСТ 2.601-2006 (таблица 2). Конструкция самоходных машин, при работе которых может возникнуть опасность опрокидывания (бульдозеры, автогрейдеры, погрузчики), предполагает установку устройства защиты оператора-машиниста при опрокидывании, величины которого соответствуют ГОСТ Р ИСО 3471-2009 (таблица 2). Допускается, что пожарная безопасность машин соответствует требованиям ГОСТ 12.1.004-91 (таблица 2). Размеры смотровых отверстий для технического обслуживания самоходных машин соответствуют ГОСТ 27921-88 (ИСО 2860-83), остальных машин – по нормативному документу на машины конкретных моделей. Если работы могут выполняться только при работающем двигателе, то допускается защита работающих в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 3471-2009.

Характеристики эргономических свойств, в первую очередь, определяют соответствие машины силовым, скоростным и энергетическим, зрительным и слуховым возможностям оператора-машиниста. Эргономические свойства характеризуют соответствие рабочего места имеющимся и вновь формируемым навыкам человека, а также возможность восприятия и переработки им информации (таблица 2).

Работающие дорожные машины являются источниками аэродинамического и структурного шумов. Аэродинамический шум создается системой газораспределения и охлаждения (вентилятором) двигателя, структурный шум возникает в результате колебаний рамы, трансмиссии и облицовки. Допускается, что эргономические свойства определяют шумовые характеристики машин, которые соответствуют ГОСТ 12.1.003-83 (таблица 2).

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Таблица 2 – Основные характеристики свойств машин допускаемых при моделировании

Основные характеристики свойств машин	Документ, определяющий основные характеристики свойств машин допускаемых при моделировании
1	2
Безопасность	
Сигнальные цвета и знаки безопасности.	ГОСТ Р 12.4.026-2001. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний.
Эксплуатационная документация.	ГОСТ 2.601-2006. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
Пожарная безопасность машин	ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
Защитные устройства и ограждения элементов конструкции машин.	ГОСТ Р ИСО 3457-99. Машины землеройные. Защитные устройства и ограждения. Определения и технические характеристики. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
Места машин, предназначенные для установки опор и домкратов.	ГОСТ Р ИСО 6405-1-99. Машины землеройные. Символы для органов управления и устройств отображения информации. Часть 1. Общие символы.
Тормозная система.	ГОСТ Р ИСО 3450-99. Машины землеройные. Тормозные системы колёсных машин. Требования к эффективности и методы испытаний.
Опасность опрокидывания	ГОСТ Р ИСО 3471-2009. Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании. Технические требования и лабораторные испытания.
Техническое воздействие на машину	ГОСТ Р ИСО 2867-99. Машины землеройные. Системы доступа. ГОСТ 27921-88 (ИСО 2860-83). Машины землеройные. Минимальные размеры смотровых отверстий.
Эргономичность	
Требования к рабочему месту оператора-машиниста.	ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ Р ИСО 2867-99. Машины землеройные. Системы доступа. ГОСТ Р ИСО 3411-99. Машины землеройные. Антропометрические данные операторов и минимальное рабочее пространство вокруг оператора-машиниста. ГОСТ 12.2.049-80. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
Шумовые характеристики машин и индивидуальные средства защиты органов слуха.	ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ Р 12.4.208-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Наушники. Общие технические требования. Методы испытаний. ГОСТ Р 12.4.209-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Вкладыши. Общие технические требования. Методы испытаний. ГОСТ Р 12.4.210-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумные наушники, смонтированные с защитной каской. Общие технические требования. Методы испытаний.

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Продолжение таблицы 2

1	2
Параметры вибрации на рабочих местах и органах управления машин.	ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
Содержание пыли и оксида углерода в воздухе кабины оператора-машиниста.	ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Требования к параметрам микроклимата в кабинах машин	ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Экологичность	
Нормы выбросов вредных веществ с отработавшими газами.	ГОСТ Р 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. ГОСТ 17.2.2.05-97. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. ГОСТ 17.2.2.01-84. Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. ГОСТ 17.2.2.02-98. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.
Конструкции системы питания, смазки охлаждения двигателя, а также заправочных горловин	ГОСТ Р 12.2.011-2003. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности. Машины строительные, дорожные и землеройные. Общие требования безопасности.
Техническая эстетичность	
Устройства дистанционного управления	ГОСТ Р 12.2.011-2003. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Машины строительные, дорожные и землеройные. Общие требования безопасности.
Информативность	
Панель контрольных приборов	ГОСТ 28634-90 (ИСО 6011-87). Машины землеройные. Приборы для эксплуатации. ГОСТ Р ИСО 6405-1-99. Машины землеройные. Символы для органов управления и устройств отображения информации. Часть 1. Общие символы.

Вибрация, вызывающая механические колебания тела человека, может привести к снижению его работоспособности и некоторым изменениям в организме, влияющим на здоровье. Человеку общая вибрация от машины передается через пол кабины и сиденья, а локальная – через рычаги и педали управления. Принято допущение о том, что параметры вибрации на рабочих местах и органах управления машин соответствуют ГОСТ 12.1.012-2004 (таблица 2).

На работоспособность оператора-машиниста влияет микроклимат в кабине, т.е. температура, влажность, скорость движения воздуха, вредные примеси, запыленность. Допускается, что содержание пыли и оксида углерода в воздухе кабины оператора-машиниста не превышает предельно допустимых норм по ГОСТ 12.1.005-88 (таблица 2). Моторный отсек должен быть изолирован от рабочего места оператора-машиниста (кабины). Величины параметров микроклимата в кабинах стационар-

ных машин соответствуют ГОСТ 12.1.005-88 (таблица 2).

Свойство экологичность характеризуется, прежде всего, нормами выбросов вредных веществ с отработавшими газами, допускается, что их величины соответствуют ГОСТ Р 12.2.011-2003 (таблица 2). Управление самоходными машинами допускается осуществлять дистанционно с помощью портативного устройства управления, которое определяет свойство технической эстетичности. Устройства

дистанционного управления устанавливается по специальному заказу потребителя и соответствует ГОСТ Р 12.2.011-2003 (таблица 2).

Информативность позволяет оператору-машинисту получить информации о состоянии, режимах работы машины и предаварийных ситуациях непосредственно в кабине машины. Допускается, что приборы для эксплуатации соответствуют ГОСТ 28634-90 (ИСО 6011-87) (таблица 2).



Рис. 1. Эксплуатационные свойства машин и риски, обусловленные влиянием человеческого фактора

Кроме социально значимых свойств машины в научных и учебных изданиях по эксплуатации и техническому обслуживанию дорожных машин, различают свойства функционального назначения, свойства ресурсопотребления, свойства сервиса. При взаимодействии эксплуатационных свойств машины дорожной организации со средой функционирования могут возникнуть риски, обусловленные влиянием человеческого фактора, к которым следует отнести загрязнение воздушной среды, поверхности воды, земли (почвы и грунта), нарушение эстетических потребностей общества, нарушение общего состояния и ра-

ботоспособности оператора-машиниста, возникновение аварийных ситуаций (рисунок 1). Допускается, что влияние человеческого фактора не приводит к загрязнению воздушной среды, поверхности воды, земли (почвы и грунта), нарушению психологических и эстетических потребностей общества, нарушению общего состояния и работоспособности оператора-машиниста, возникновению аварийных ситуаций.

В любой стране возможны политические потрясения, непредсказуемость экономической политики государства, изменения в законодательстве, которые определяют социально-

политические риски, обусловленные политической ситуацией в стране и деятельностью государства, риски связанный с нестабильностью экономического законодательства и текущей экономической ситуации, условий инвестирования и использования прибыли. Принимается допущение о том, что данные виды рисков не оказывают влияние на моделирование формирования и развития систем машин дорожных организаций.

Заключение

Математическая модель позволяющая принять оптимальное решение по вопросу эффективности формирования и развития систем машин дорожных организаций представляет собой упрощение реальной ситуации, поэтому для её построения вводятся допущения, облегчающие математическое описание. В результате выполненного обоснования установлено, что при формировании и развитии систем машин дорожных организаций можно пренебречь:

- рисками, обусловленными чрезвычайными событиями природного характера;
- рисками, связанными с влиянием человеческого фактора;
- социально-политическими рисками;
- рисками, связанными с нестабильностью экономического законодательства и текущей экономической ситуацией, условиями инвестирования и использования прибыли.

Библиографический список

1. Иванов В. Н. Моделирование формирования и развития парков машин дорожных организаций: монография /В. Н. Иванов, Л. С. Трофимова. – Омск: СибАДИ, 2012.– 180 с.
2. Пермяков В. Б. Методология оптимизации комплектов машин для строительства элементов автомобильной дороги /В. Б. Пермяков //Вестник СибАДИ. – 2010. – № (4) 18, С. 5-9.
3. СНиП 23-01-99. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология. С изменениями Госстроя России от 24.12.2002 г. № 164. – М. – 2003 г. – 79 с.

4. Экономические механизмы управления рисками чрезвычайных ситуаций: учебное пособие /МЧС России. – М.: ИПП «Куна», 2004. – 312 с.

JUSTIFICATION OF THE ASSUMPTIONS IN THE MATHEMATICAL MODELING OF THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF MACHINES ROAD ORGANIZATIONS

V. N. Ivanov, L. S. Trofimova

In the paper the rationale of assumptions in the mathematical modeling of the formation and development of systems of machines road organizations, taking into account risks arising from extraordinary events of a natural character; risks related to the impact of human factors, socio-political risks, risks related to the volatility of economic legislation and the current economic situation, investment conditions and the use of profits.

Иванов Виталий Николаевич - д. т. н., проф. Зав. каф. «Менеджмент» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». Основное направление научных исследований - Формирование и развитие систем машин дорожных организаций с учётом изменяющихся требований к качеству технологических процессов. Общее количество публикаций – 56. ivanov_vn@sibadi.org

Трофимова Людмила Семеновна - к.т.н., доцент, докторант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». Основное направление научных исследований. Формирование и развитие систем машин дорожных организаций с учётом изменяющихся требований к качеству технологических процессов. Общее количество публикаций – 18. . trofimova_ls@mail.ru.

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ РАБОЧЕГО ОРГАНА СКРЕПЕРА-ПЛАНИРОВЩИКА

И. М. Корнев

Аннотация. Приведены основные составляющие блока управления, их математические описания и структурная схема математической модели блока управления.

Ключевые слова: блок управления, скрепер-планировщик, пороговый элемент.

Введение

Скрепер – это высокопроизводительная землеройно-транспортная машина циклического действия, предназначенная для разработки (набора) и транспортирования грунта с укладкой его в насыпь или отвал, планированием, разравниванием грунта с предварительным частичным его уплотнением [1]. В работе используется скрепер с возможностью регулировать рабочий орган в поперечной плоскости, в связи с данным фактом в дальнейшем машина будет называться скрепер-планировщик.

В качестве заданных параметров скрепера-планировщика предлагается использовать $Y_{PO_зад}$ и угол поперечного уклона $\gamma_{PO_зад}$. В качестве информационных параметров управления положением правого и левого краев скреперного ковша предлагается использовать $Y_{РОП}$ и $Y_{РОЛ}$, а также в качестве параметров управления задней стенкой – данные полученные путем измерения призмы волочения правого и левого края скреперного ковша $Y_{РОП_дат}$ и $Y_{РОЛ_дат}$.

Основная часть

Изменение положения рабочего органа и управление задней стенкой ковша производится с помощью гидропривода (исполнительная часть системы управления), которая является релейным звеном, что обуславливает применение релейной статической характеристики порогового элемента блока управления гидроприводом рабочего органа скрепера-планировщика. [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Блок управления состоит из четырех элементов:

- датчики положения рабочего органа;

- датчики измерения призмы;
- задатчики проектируемой плоскости;
- элементы управления:
 - а) сравнительные элементы;
 - б) пороговые элементы.

Сигналы рассогласования после между датчиком и задатчиком после сравнительного элемента передаются в виде токов $\Delta I_{РОП}$ и $\Delta I_{РОЛ}$ без искажений с коэффициентом передачи K_d , равным 1, на пороговый элемент который задает пороги срабатывания электрогидрораспределителя, чтобы исключить не нужных его включений. Математическая модель в виде блок-схемы блока управления представлена на рисунке 1.

Преобразование заданных значений высотной координаты $Y_{PO_зад}$ и угла наклона $\gamma_{PO_зад}$ в положения краев отвала $Y_{РОП_зад}$ и $Y_{РОЛ_зад}$ производится по формулам [8]:

$$Y_{РОП_зад} = Y_{PO_зад} + \frac{L_3}{2} \cdot \text{tg}\gamma_{PO_зад}; \quad (1)$$

$$Y_{РОЛ_зад} = Y_{PO_зад} - \frac{L_3}{2} \cdot \text{tg}\gamma_{PO_зад}, \quad (2)$$

где L_3 – ширина рабочего органа.

Преобразование рассогласованных сигналов между датчиком и задатчиком после сравнительного элемента $\Delta I_{РОП}$ и $\Delta I_{РОЛ}$ в $\Delta I_{РО}$ и ΔI_P производится по формулам [9]:

$$\Delta I_{РО} = \frac{\Delta I_{РОП} + \Delta I_{РОЛ}}{2}; \quad (3)$$

$$\Delta I_P = \text{arctg}\left(\frac{\Delta I_{РОП} - \Delta I_{РОЛ}}{L_3}\right). \quad (4)$$

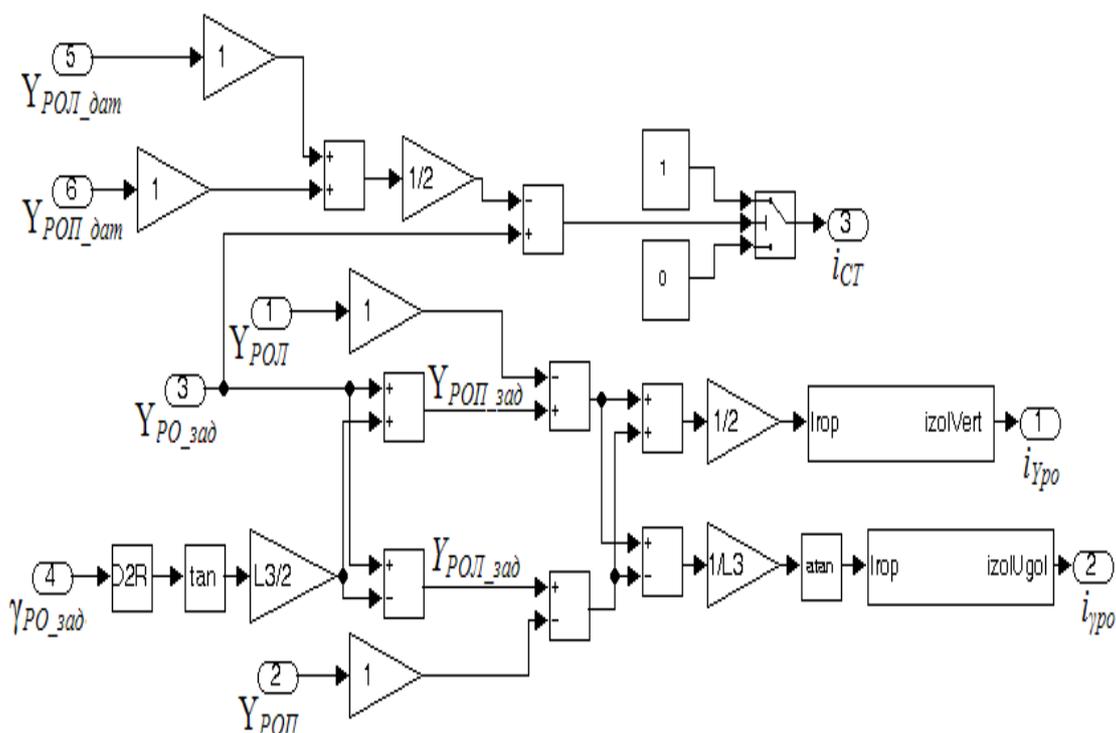


Рис. 1. Структурная схема математической модели блока управления реализованная в MATLAB расширение Simulink

Для управления задней стенкой сигнал с датчиков измерения призмы волочения поступает на гидропривод управления задней стенкой ковша, который можно найти по формуле [9]:

$$Y_{PO_дат} = \frac{Y_{POП_дат} + Y_{РОП_дат}}{2} \quad (5)$$

Из-за того, что быстродействие электронных схем намного превышает быстродействие исполнительной части устройства управления рабочим органом, статическая характеристика порогового элемента описана как реле с различными порогами срабатывания (рис. 2.).

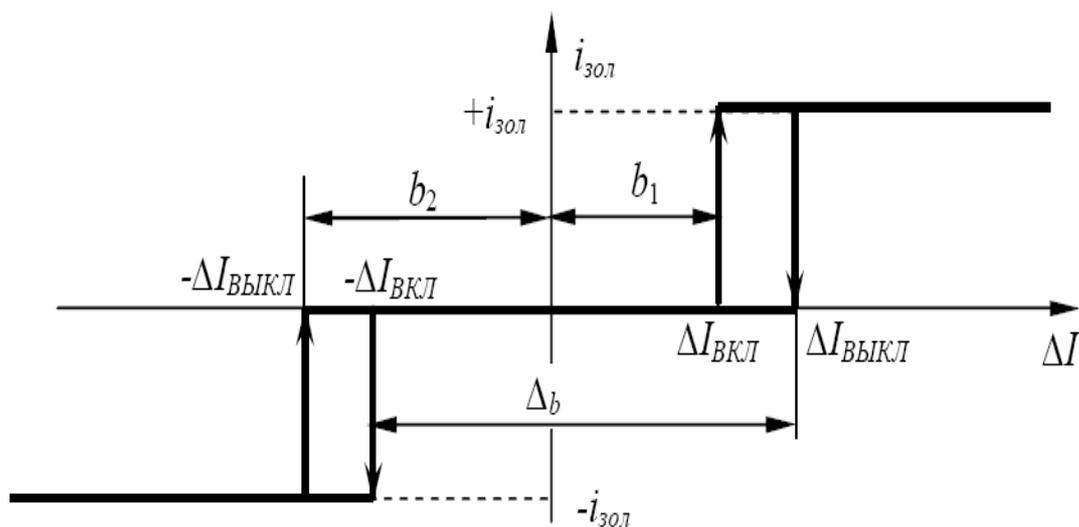


Рис. 2. Статическая характеристика порогового элемента

На статической характеристике $b_1 = |\Delta I_{вкл}|$ – порог срабатывания на включение порогового элемента, $b_2 = |\Delta I_{выкл}|$ – порог срабатывания на отключение порогового элемента, $k_b = b_1/b_2$ – отношение порогов срабатывания на включение и отключение порогового элемента.

$$\Delta b = b_1 + b_2, \quad (6)$$

где Δb является шириной зоны нечувствительности порогового элемента, которая является

$$i_{зол} = \begin{cases} \frac{i_{зол}}{2} \cdot \left[\left(\frac{1+1 \cdot \text{sign}(\Delta I)}{2} \right) (1+1 \cdot \text{sign}(\Delta I - b_1)) + \left(\frac{1-1 \cdot \text{sign}(\Delta I)}{2} \right) (1 \cdot \text{sign}(\Delta I + b_2) - 1) \right] & \text{при } \frac{d(\Delta I)}{dt} \geq 0; \\ \frac{i_{зол}}{2} \cdot \left[\left(\frac{1+1 \cdot \text{sign}(\Delta I)}{2} \right) (1+1 \cdot \text{sign}(\Delta I - b_2)) + \left(\frac{1-1 \cdot \text{sign}(\Delta I)}{2} \right) (1 \cdot \text{sign}(\Delta I + b_1) - 1) \right] & \text{при } \frac{d(\Delta I)}{dt} < 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $i_{зол}$ – ток управления, подаваемый на золотник гидрораспределителя, ΔI – значение сигнала рассогласования.

Заключение

Таким образом, представленная модель блока управления совместно будет использоваться в общем математическом описании рабочего процесса скрепера-планировщика.

Библиографический список

1. Симон Л. А. Дорожные машины. Отраслевой каталог. Москва. 1987. -453 с.
2. Алексеева Т. В. Разработка следящих систем управления рабочим процессом землеройно-транспортных машин с целью повышения их эффективности. – Омск, 1974. – 175 с.
3. Алексеева Т. В., Щербаков В. С. Оценка и повышение точности землеройно-транспортных машин: Учеб. пособие. – Омск: СибАДИ, 1981. – 99 с.
4. Бакалов А. Ф. Совершенствование системы стабилизации положения рабочего органа автогрейдера: Дис. ... канд. техн. наук.- Омск: СибАДИ, 1986. – 231 с.
5. Глебов В. Д. Исследование статистических характеристик входных воздействий систем управления рабочими процессами землеройнотранспортных машин / В. Д. Глебов, В. Н. Тарасов, Ю. И. Грабарев // Гидропривод и системы управления / СибАДИ; НИСИ. – Новосибирск: НИСИ, 1977. – с.113 – 119
6. Ерофеев А. А. Автоматизированные системы управления строительными машинами. – Ленинград: изд-во «Машиностроение», 1977. – 224 с.

суммой порогов срабатывания на включение и отключение порогового элемента.

Так как открывание и закрывание порогового элемента происходит при разных значениях входного сигнала, что применяется для компенсации запаздывания гидроаппаратуры, его математическое описание выполнено с помощью системы неравенств [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]:

7. Тарасов В. Н. Динамика систем управления рабочими органами землеройно-транспортных машин. – Зап.-сиб. кн. изд-во, Омское отделение, 1975. – 182 с.

8. Шипилевский Г. Б. Тракторная автоматика. Конспект лекций по дисциплине: «Автоматические системы колёсных и гусеничных транспортно-тяговых машин». – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 44с.

9. Щербаков В. С. Составление структурных схем землеройно-транспортных машин как объектов автоматизации: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 47 с.

CONTROL OF THE BODY HYDRODRIVES SCRAPERS PLANNER

I. M. Kornev

Are the main components of the control unit, their mathematical description and a block diagram of the mathematical model of the control unit.

Корнев Иван Михайлович – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. Основное направление научных исследований – автоматизированное проектирование систем. Имеет 9 опубликованных работ. E-mail: ink_55@mail.ru.

УДК 622.23

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ФРЕЗЫ

В. Н. Кузнецова, А. Н. Шаймарданов

Аннотация. В данной статье анализируется влияние на потребление мощности холодной фрезы и характеристика нагрузки двигателя. Разработана имитационная модель для холодной фрезы и метод адаптивного пропорционально интегрального дифференциального (ПИД) регулирования, используется в имитационном моделировании. На основании этих исследований разработана имитационная модель холодной фрезы с помощью программного обеспечения AMESim 4.2.

Ключевые слова: холодная фреза, адаптивная мощность, параметры управления, моделирование.

Введение

Холодные фрезы используются главным образом для текущего ремонта автомобильных дорог и их реконструкции. Машины фрезеруют дорожное полотно во время движения. Так как толщины и свойства фрезеруемого материала на различных строительных площадках неодинаковые, нагрузка на двигатель холодной фрезы изменяется случайно. Поскольку нагрузка двигателя холодной фрезы динамична в ходе рабочего процесса, изменение нагрузки двигателя машины является величиной нелинейной. Установить режим работы холодной фрезы только из опыта оператора и ручного управления машиной практически невозможно. Адаптивная система управления мощностью необходима для автоматической настройки холодной фрезы для работы на номинальной мощности или в наиболее эффективном режиме.

Основная часть

С учетом сложного и весьма неопределенного характера таких динамических систем как управление мощностью холодной фрезы, использование контроллеров возможно. Однако их недостатком является необоснованное снижение производительности машины при снижении мощности двигателя.

В отличие от контроллеров с постоянным коэффициентом усиления, которые поддерживают заданные константы в рамках закона управления с обратной связью для поддержания повышенной отказоустойчивости, адаптивные контроллеры прямо или косвенно регулируют коэффициенты усиления обратной связи для поддержания устойчивости при замкнутом контуре управления и повышения эффективности в условиях неопределенности системы. Адаптивные контроллеры могут работать с гораздо более высоким уровнем неопределенности системы управления для того, чтобы увеличить производительность машины. Поэтому

адаптивный метод контроля используется в управление мощностью холодной фрезы.

Здесь необходимо определиться с выбором эффективных параметров управления.

Существуют две точки зрения относительно параметров управления мощностью фрезы. Одна точка зрения состоит в том, что частота вращения режущего барабана - главный фактор, влияющий на мощность двигателя. Вторая точка зрения заключается в том, что на мощность двигателя главным образом влияет скорость передвижения машины.

Анализ результатов экспериментальных данных указывает на то, что частота вращения режущего барабана оказывает большое влияние на потребление мощности [1]. В [1] описывается начало процесса фрезерования, статическое и динамическое сопротивление режущего барабана. Исследованы законы сопротивления резанию барабана фрезы в зависимости от угловой скорости резца. Однако автор пренебрегает скоростью передвижения машины.

В [2] приведено описание характеристик работы холодной фрезы с динамической точки зрения. Изучено влияния скорости режущего барабана, скорости машины, глубины фрезерования, параметров резца, свойств обрабатываемых материалов на сопротивление фрезерованию и расход мощности. Авторами получена формула для расчета мощности фрезерования, которая включает скорость машины. Однако авторы приходят к заключению, что скорость резания фрезерным барабаном намного выше, чем скорость движения машины, и поэтому скоростью движения машины пренебрегли.

Анализ влияния скорости передвижения машины на мощность двигателя подробно приведен в [3]. Однако четкого обоснования скорости передвижения машины как параметра управления мощностью не приведено.

Рассмотрим рабочий процесс фрезерования.

Согласно адаптивной теории управления функция адаптивного управления мощностью фрезы должна регулировать расход мощности и установить эффективный режим работы машины, который состоит в том, что при величине номинальной мощности машины будет достигнута максимальная производительность холодной фрезы.

Потребление мощности фрезерного барабана зависит от многих параметров. Тем не менее, такие параметры, как угол фрезерования, угол трения передней поверхности режущего зуба, радиус фрезерного барабана и разрушающая сила разлома фрезеруемого материала можно рассматривать как постоянные. Фрезерный барабан фактической машины, как правило, приводится в действие двигателем посредством коробки передач. Так как передаточное число редуктора составляет около 20, то угловая скорость фрезерного барабана изменяется незначительно при изменении частоты вращения двигателя. Следовательно, угловая скорость фрезерного барабана может также рассматриваться в качестве постоянной величины. Отношение между потреблением мощности системы фрезерного барабана и скоростью машины является квадратичным. Поэтому регулирование потребления мощности фрезерного барабана посредством изменения скорости машины эффективно и обоснованно.

Следует отметить, что двигатели для холодных фрез часто оснащены управляющим устройством, ограничивающим максимальную скорость работы. Таким устройством управления для двигателя фрезы является модулятор. Из нагрузочной характеристики двигателя при его полной загрузке (рис. 1.) видно, что выходная мощность двигателя изменяется при изменении частоты вращения. Регулировка выходной мощности двигателя может быть реализована посредством корректировки нагрузки фрезерования машины. В то же время нагрузка фрезерования машины может быть скорректирована изменением скорости машины. Следовательно, частота вращения двигателя может регулироваться изменением скорости машины. Если модулятор масляного насоса устанавливается в номинальном режиме работы, но нагрузки на двигатель фрезы резко возрастает, то частота вращения двигателя будет увеличиваться.

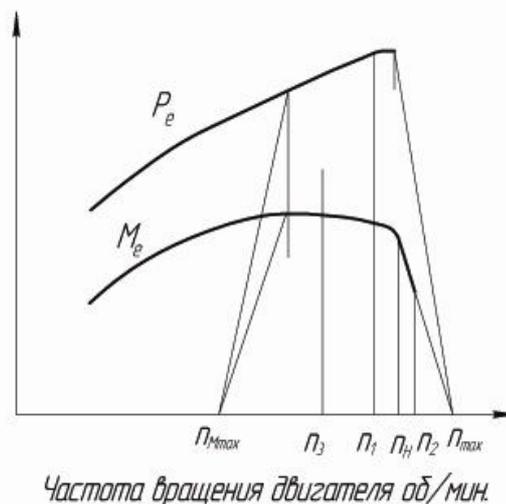


Рис. 1. Нагрузочная характеристика двигателя холодной фрезы

Соотношение между основной потребляемой мощностью машины и скоростью ее передвижения является также квадратичным. Скорость машины имеет большое влияние не только на потребление мощности фрезерного барабана, но и на приводную систему. Поскольку эти две части потребления мощности относятся к скорости машины, то величины потребляемой мощности фрезерного барабана и привода системы могут быть скорректированы изменением скорости передвижения машины. Поэтому скорость машины выбрана в качестве параметра адаптивного управления мощностью двигателя.

На основе теоретического анализа и некоторых экспериментальных результатов разработана имитационная модель холодной фрезы (рис. 2.) с использованием программного обеспечения AMEsim 4.2. Характеристики двигателя и крутящего момента в модели взяты из фактических параметров холодной фрезы. Редуктор соединен с двигателем. Выходная мощность делится на две части коробкой передач. Одна часть мощности затрачивается на привод и вращение режущего барабана, другая часть на системы гидравлического привода, в котором расход насоса может быть изменен и расход мотора регулируется.

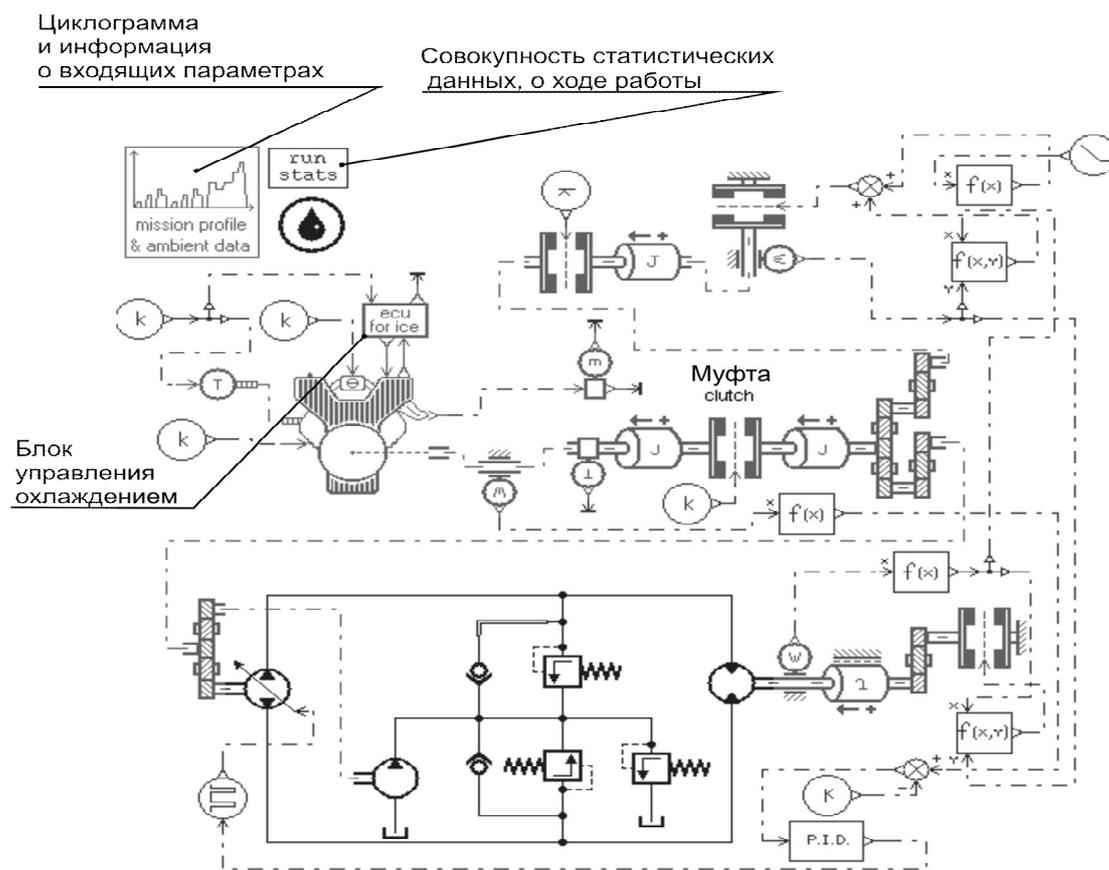


Рис. 2. Имитационная модель холодной фрезы

Адаптивный самонастраивающийся метод управления используется в системе управления машиной. Параметры ПИД-контроллера можно регулировать в соответствии с режимом работы машины. Использование адаптивного ПИД-контроллера обосновано в [7-11].

В качестве кривых изменения параметров работы двигателя выбрана синусоида (рис. 3.). Базовой частотой вращения двигателя в адаптивной системе управления мощностью является номинальная частота вращения.

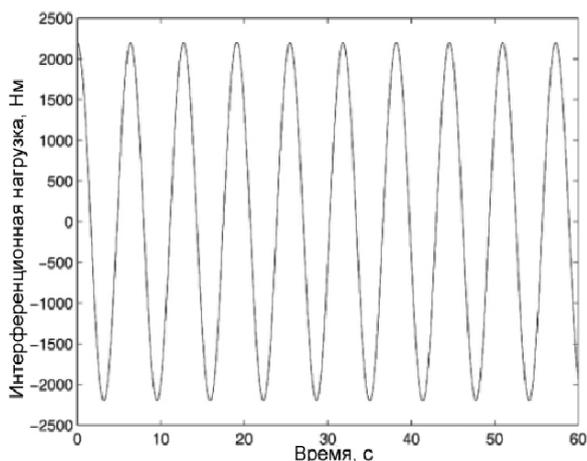


Рис. 3. Кривая интерференционной нагрузки

Когда машина не оснащена адаптивным контроллером мощности, скорость машины и нагрузка фрезы имеет тенденцию меняться по законам, показанным на рис. 4 - 6. Средняя скорость машины $10,44 \text{ м}\cdot\text{мин}^{-1}$ и отклонение амплитуды скорости только $1 \text{ м}\cdot\text{мин}^{-1}$, в то время как отклонение частоты вращения двигателя $117 \text{ об}/\text{мин}$. Погрешность смоделированной скорости машины между экспериментальными результатами находится в пределах 6 %, если машина не имеет адаптивного контроллера. Выходная вариация амплитуды мощности двигателя 42 кВт , средняя выходная мощность составляет лишь $115,6 \text{ кВт}$, а коэффициент использования номинальной мощности двигателя $87,5 \%$ (рис. 6.).

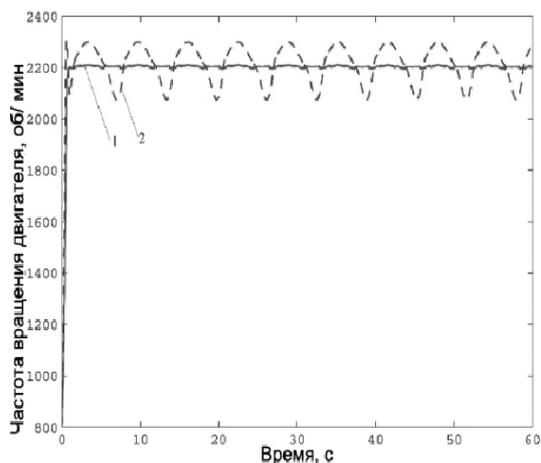


Рис. 4. Изменение частоты вращения двигателя: 1 - с адаптивным контроллером управления мощностью, 2 – без адаптивного контроллера управления мощностью

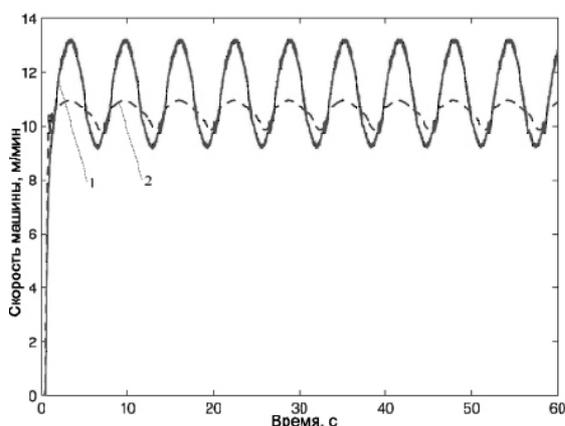


Рис. 5. Изменение рабочей скорости машины: 1-с адаптивным контроллером управления мощностью, 2 - без адаптивного контроллера управления мощностью

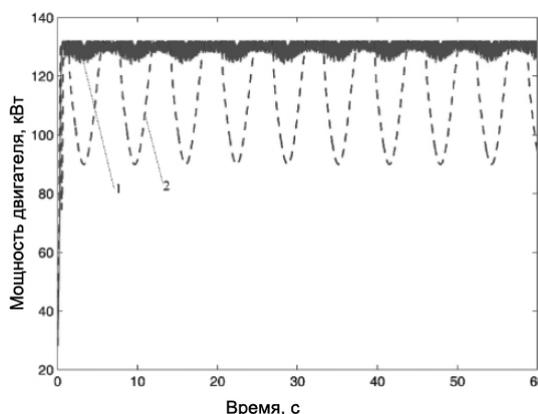


Рис. 6. Изменение мощности двигателя машины: 1 - с адаптивным контроллером управления мощностью, 2 - без адаптивного контроллера управления мощностью

После того как адаптивный контроллер мощности установлен на машине, производительность повышается. Частота вращения двигателя гладкая кривая. Средняя выходная мощность двигателя $128,9 \text{ кВт}$, коэффициент использования номинальной мощности двигателя, увеличился на $10,2 \%$. Средняя скорость машины $11,11 \text{ м}/\text{мин}$, а производительность увеличивается до $6,32 \%$. Скорость машины с адаптивным контроллером на $0,6 \text{ м}/\text{мин}$ больше, чем без контроллера, в то время как средняя выходная мощность двигателя увеличивается на $13,44 \text{ кВт}$. Эти результаты показывают, что является целесообразным и эффективным выбрать скорость машины как управляющий параметр.

Выводы

1. При отсутствии адаптивной системы управления сигнал модулятора масляного насоса и мощность машины постоянны. Изменение нагрузки фрезерования машины влияет на частоту вращения двигателя непосредственно, и машина не может автоматически изменить частоту вращения двигателя для того, чтобы регулировать нагрузку фрезерования, если приводные колеса не проскальзывают. Это приводит к перегрузке или малой загрузке двигателя.

2. Когда адаптивной контроллер мощности установлен на машине, изменения режимов фрезерования, расхода насоса также регулируются посредством контроллера методом постепенного изменения скорости передвижения машины. Коэффициент использования номинальной мощности двигателя значительно возрастает.

3. Кривые характеристик частоты вращения двигателя при его полной загрузке также

показывают, что мощность двигателя снизится, если его частота вращения отличается от номинального значения. Выходная мощность двигателя уменьшается максимум на 42 кВт, если машина работает в режиме небольшой нагрузки, в то время как выходная мощность двигателя уменьшается, лишь на 8 кВт, если двигатель работает в режиме перегрузки. Если машина оснащена адаптивным регулятором мощности, выходная мощность двигателя уменьшается незначительно, и эта величина практически совпадает с номинальным значением. Погрешность скорости машины полученной моделированием и экспериментальные результаты находятся в пределах 6 %.

4. Выбор скорости машины как адаптивного параметра позволяет регулировать загрузку фрезы и стабилизировать её работу. Машина может также осуществлять самонастройку и устанавливать коэффициент использования номинальной мощности двигателя в наибольшем его значении.

5. Адаптивный регулятор уровня мощности формирует сигналы повышения расхода насоса до достижения максимального значения. Это приводит к увеличению скорости и производительности машины до максимального значения. При быстром изменении нагрузки фрезерования адаптивные системы регулирования мощности дают больший эффект.

6. Основываясь на приведенном выше исследовании, был смоделирован рабочий процесс холодной фрезы. Моделирование базировалось с учетом реальных условий эксплуатации холодной фрезы. Ошибка в значениях скорости машины между смоделированными и опытными данными находится в пределах 3 %. Полученные результаты могут быть использованы для реальных систем управления.

7. Использование скорости движения холодных фрез как управляющего параметра обосновано и эффективно. Двигатель холодной фрезы может обеспечивать номинальную мощность и работать с наибольшей производительностью посредством самонастраивания адаптивной системы регулирования мощности. Коэффициент использования номинальной мощности двигателя увеличивается более чем на 10,2 %. Производительность машины возрастает, по крайней мере, на 6,32 % в различных рабочих условиях.

8. Полученные результаты могут применяться для разработки систем управления не только холодных фрез, но и других машин.

Библиографический список

1. Sun, Z.-W., L.I. Tai-jie, H.-X. Yao. 1991. Dynamic Investigation of the Operation Process of Road-mix Soil Stabilization and Method of Simulation. China Journal of Highway and Transport 1, 31–42.
2. Zeng, W.-B., M. Zhao, H. E. Ting-ji. 2004. Working Performance for Asphalt Road Plane Milling Machine. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition) 24, 58–61.
3. Lu, Q.-P., C.-J. Wei, Y.-B. Hu. 2005. Design of Adaptive Power Controller for Road Milling Machine. Construction Machinery 9, 82–85.
7. Poulin, E., A. Pomerleau, A. Desbiens and D. Hodouin. 1995. Development and Evaluation of an Auto-Tuning and Adaptive PID Controller. Automatica, 32(1), 71–82.
8. Lam, B.D. and C.H. Lam. Adaptive PID Control Application for an Airflow Monitoring System, SAE, ref 921220.
9. Astrom, K. and H. Hagglund 1995. PID Controller. Research Triangle Park, NC: Instrument Society of America. Second Edition.
10. Lin, F., R. Brandt and G. Saikalas. 2000. Self Tuning of PID Controller by Adaptive Interaction. In Proceedings of the American Control Conference Chicago, Illinois, pp. 3676–3681.
11. Hayakawa, T. 2003. Direct Adaptive Control for Nonlinear Uncertain Dynamical Systems. Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology.

IMITATING MODEL OF WORKING PROCESS OF THE COLD MILL

V. N. Kuznetsova, A. N. Shaymardanov

In this article influence on consumption of capacity of a cold mill and the characteristic of loading of the engine is analyzed. The imitating model is developed for a cold mill and a method adaptive in proportion integrated differential (PID) of regulation, is used in imitating modeling. On the basis of these researches the imitating model of a cold mill by means of AMEsim 4.2 software is developed.

Кузнецова Виктория Николаевна - д-р технических наук, профессор, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основные направления научной деятельности - Оптимизация рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин. Общее количество опубликованных работ: 90. e-mail: nis@sibadi.org

Шаймарданов А. Н. – аспирант Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии «СибАДИ».

УДК 621.113

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. А. Мурог, Е. С. Терещенко, Д. Ю. Фадеев, Д. В. Шабалин

Аннотация. На основе имитационного моделирования исследованы и обоснованы технические решения по совершенствованию распределения мощности между ведущими колесами автомобилей многоцелевого назначения посредством механической трансмиссии, реализующие: рациональное распределение мощности между ведущими мостами; метод периодически отключаемого полного привода; метод управления буксованием ведущих колес путем приложения тормозного момента и (или) уменьшения подачи топлива; метод блокирования межколесных и межосевых связей.

Ключевые слова: трансмиссия, автомобиль многоцелевого назначения, дифференциал, передаточное отношение.

Введение

В настоящее время необходимо проведение единой обоснованной технической политики в области развития и использования парка автомобильной техники. Экономически целесообразным является обновление парка автомобильной техники путем модернизации машин и разработки модельного ряда на основе базовой модели. В специфических условиях проведения таких работ эффективным является применение математических моделей процессов и методов численного эксперимента. Однако в настоящее время методология модернизации парка автомобильной техники в окончательном виде на проработана.

Основными направлениями модернизации трансмиссии перспективных автомобилей многоцелевого назначения являются [1]:

- полный привод с рациональным значением передаточного отношения межосевого дифференциала;

- реализация возможности периодического отключения части ведущих мостов при движении в хороших дорожных условиях;

- управление буксованием ведущих колес путем уменьшения подачи топлива или приложения тормозного момента к буксующему колесу;

- обеспечение в процессе движения возможности переключения передач в раздаточной коробке;

- обеспечение в процессе движения блокирования дифференциалов и компенсации кинематического несоответствия путем регулирования давления воздуха в шинах.

Основная часть

Разработаны зависимости для определения дополнительных затрат мощности вследствие неравномерного распределения сил тяги по ведущим колесам, возникающие при движении автомобилей многоцелевого назначения с межосевым дифференциалом [1]:

Автомобили многоцелевого назначения типа 4X4:

$$N_{дон.4.4} = \gamma \cdot \frac{\omega}{2} \cdot \left[2 \cdot P_a \cdot \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^3} \cdot (2 - u^2 \cdot I) + \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^2} \cdot (2) \right] \quad (1)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 6X6:

$$N_{дон.6.6} = \gamma \cdot \frac{\omega}{2} \cdot \left[2 \cdot P_a \cdot \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^3} \cdot (2 - u^2 \cdot I) + \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^2} \cdot (3) \right] \quad (2)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 8X8:

$$N_{дон.8.8} = \gamma \cdot \frac{\omega}{4} \cdot \left[2 \cdot P_a \cdot \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^3} \cdot (2 - u^2 \cdot 2) + \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^2} \cdot (4) \right] \quad (3)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 10X10:

$$N_{дон.10-10} = \gamma \cdot \frac{\omega}{6} \cdot \left[2 \cdot P_a \cdot \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^3} \cdot (3 - u^2 \cdot l) + \frac{(f_a \cdot G_a - u \cdot R_{z1} \cdot f_1)}{(u+1)^2} \cdot (5) \right] \quad (4)$$

При движении по твердым опорным поверхностям эти потери мощности могут достигать 3...8 % от общей мощности, необходимой для движения автомобиля многоцелевого назначения. Имеется зона минимума потерь мощности, которая обеспечивается оптимизацией передаточного отношения межосевого дифференциала.

Так как создать механический дифференциальный механизм с автоматическим изменением передаточного отношения на сегодняшний день невозможно, то снизить потери мощности и повысить тягово-скоростные свойства автомобилей многоцелевого назначения можно, применив в межосевом приводе дифференциальный механизм с рациональным передаточным отношением [2].

Методика создания дифференциального механизма с рациональным передаточным отношением включает в себя:

- сбор статистической информации об условиях движения и нагружения автомобиля многоцелевого назначения;

- определение передаточного отношения межосевого дифференциала в конкретных дорожных условиях с конкретной нагрузкой.

При выполнении научно-исследовательских работ получены зависимости для определения передаточного отношения межосевого дифференциала, обеспечивающего минимальные потери мощности в заданных условиях движения [2]:

Автомобили многоцелевого назначения типа 4X4:

$$U_{мод.6-6} = \left[\frac{P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 3 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + 2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a + 2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2}{P_a \cdot f_a \cdot G_a + 3 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 2 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + 2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a} \right] \quad (5)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 6X6:

$$U_{мод.4-4} = \left[\frac{1}{\left(\frac{P_a \cdot f_a \cdot G_a + 3 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 3 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + 3 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a}{\left(-4 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 3 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + 2 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + 3 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \right)} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{40 \cdot P_a^2 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + 96 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a + 64 \cdot P_a^2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a + 48 \cdot R_{z1}^3 \cdot f_1^3 \cdot P_a + 9 \cdot f_a^4 \cdot G_a^4 + 24 \cdot f_a^3 \cdot G_a^3 \cdot P_a + 54 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + 28 \cdot P_a^2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + 120 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1^2 \cdot f_a \cdot G_a + 9 \cdot R_{z1}^4 \cdot f_1^4 + 36 \cdot R_{z1}^3 \cdot f_1^3 \cdot f_a \cdot G_a + 36 \cdot f_a^3 \cdot G_a^3 \cdot R_{z1} \cdot f_1}{\left(-4 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 3 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + 2 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + 3 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 8X8:

$$U_{мод.8-8} = \left[\frac{(P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 3 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + 2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a + 2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2)}{P_a \cdot f_a \cdot G_a + 3 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + 2 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + 2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a} \right] \quad (7)$$

Автомобили многоцелевого назначения типа 10X10:

$$U_{\text{мод1010}} = \frac{1}{\begin{pmatrix} 2 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + \\ + 6 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + \\ + 5 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + \\ + 5 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a \end{pmatrix}} \cdot \left[\begin{pmatrix} -6 \cdot P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 + \\ + 5 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + \\ + 4 \cdot P_a \cdot f_a \cdot G_a + \\ + 5 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \end{pmatrix} + \left(\begin{pmatrix} 108 P_a^2 \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 + 280 P_a \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + \\ + 192 P_a^2 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \cdot f_a \cdot G_a + 120 R_{z1}^3 \cdot f_1^3 \cdot P_a + \\ + 25 \cdot f_a^4 \cdot G_a^4 + 80 \cdot f_a^3 \cdot G_a^3 \cdot P_a + \\ + 150 R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + 88 \cdot P_a^2 \cdot f_a^2 \cdot G_a^2 + \\ + 320 P_a \cdot R_{z1}^2 \cdot f_1^2 \cdot f_a \cdot G_a + 25 \cdot R_{z1}^4 \cdot f_1^4 + \\ + 100 R_{z1}^3 \cdot f_1^3 \cdot f_a \cdot G_a + 100 f_a^3 \cdot G_a^3 \cdot R_{z1} \cdot f_1 \end{pmatrix} \right)^{1/2} \right] \cdot (8)$$

Для определения рационального передаточного отношения межосевого дифференциала, соответствующего математическому ожиданию для всей совокупности вероятных условий эксплуатации применительно к различным дорожным условиям и видам оборудования, обеспечивающего требуемый уровень производительности и проходимости автомобилей многоцелевого назначения получена зависимость:

$$u_{\text{мод}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^s p_j} \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^s p_j}{\sum_{i=1}^n p_j} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_j} \cdot \sum_{i=1}^n p_j \cdot m_{u_{\text{мод}ij}} \right),$$

где p_i – вероятность движения автомобиля многоцелевого назначения в i -х дорожных условиях; p_j – вероятность монтажа на автомобиле многоцелевого назначения j -го типа оборудования; $m_{u_{\text{мод}ij}}$ – математическое ожидание рационального передаточного отношения межосевого дифференциала в i -х дорожных условиях с j -м типом оборудования; n – число разновидностей дорожных условий; s – число

разновидностей оборудования, монтируемого на автомобиле многоцелевого назначения.

При проведении научно-исследовательских работ на основании разработанной методики найдены следующие передаточные отношения межосевых дифференциалов автомобилей многоцелевого назначения: УАЗ-3151 (4X4) – 1,2; ГАЗ-3308 (4X4) – 1,3; ЗИЛ-131 (6X6) – 2,4; КАМАЗ типа 4X4 – 1,3; КАМАЗ типа 6X6 – 2,8; КАМАЗ типа 8X8 – 1,2.

Для оценки эффективности применения предлагаемых решений проводилось имитационное моделирование движения автомобилей многоцелевого назначения по типовому маршруту с серийной трансмиссией, автомобилей многоцелевого назначения с рекомендованным передаточным отношением межосевого дифференциала. Моделирование показывает, что оснащение автомобилей многоцелевого назначения межосевым дифференциалом с рекомендованным передаточным отношением, позволяет повысить на 5...9 % среднюю скорость движения по твердым опорным поверхностям и снизить на 6...8 % расход топлива по сравнению с серийным автомобилями многоцелевого назначения (Рис. 1.) [3].

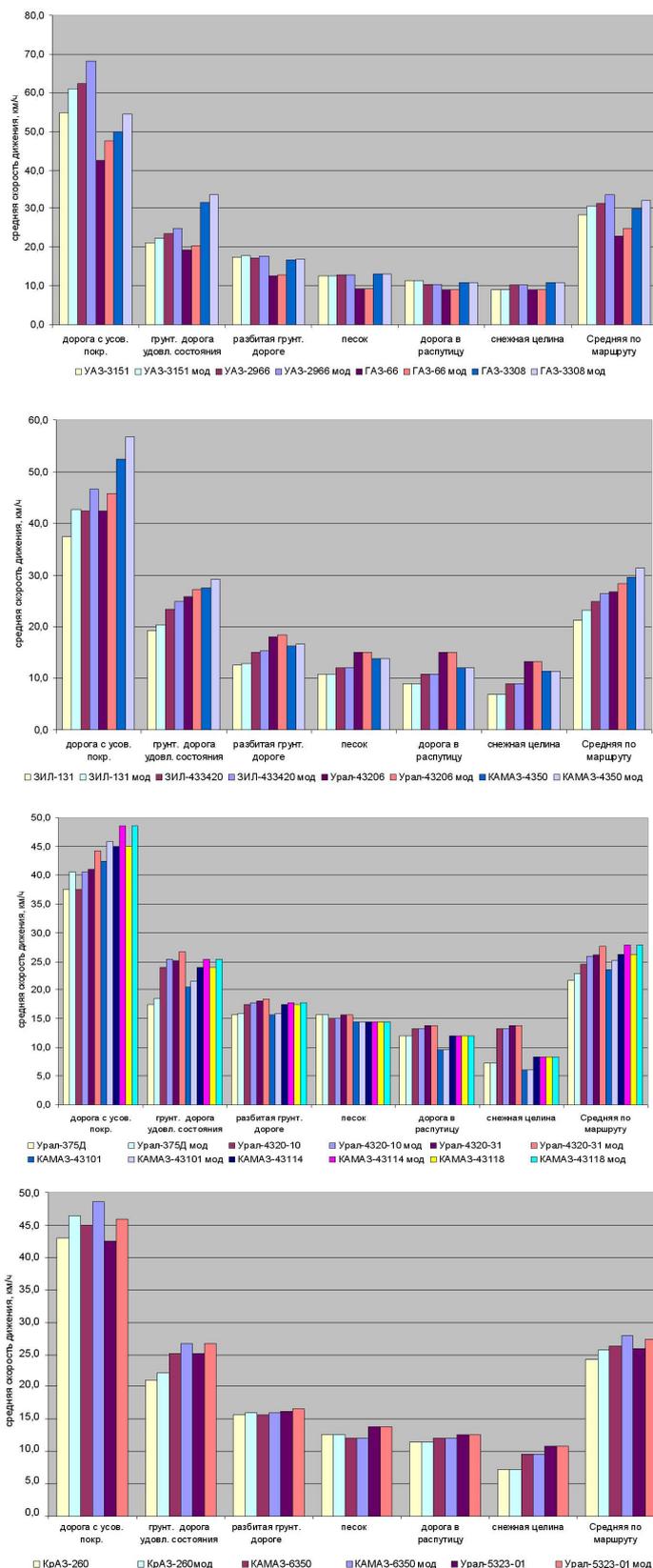


Рис. 1. Оценка скоростных свойств автомобилей многоцелевого назначения с различными передаточными отношениями межосевого дифференциала

Результаты научно-исследовательской работы подтверждают целесообразность и эффективность отключения части ведущих мостов автомобиля многоцелевого назначения. Граничным условием включения ведущего моста в работу является превышение суммы потерь мощности в n -ведущих мостах и на проскальзывание $2n$ -работающих колес над суммой потерь мощности в $(n+1)$ -ведущих мостах и на проскальзывание $2(n+1)$ -работающих колес:

$$N_{mрn} + N_{букс2n} \leq N_{mр(n+1)} + N_{букс2(n+1)}. \quad (9)$$

Дополнительным условием является отключение ведущего моста у раздаточной коробки и у ведущих колес. Для определения закона управления включением в работу ведущего моста в качестве информационной переменной предложено использовать значение коэффициента буксования ведущих колес. Граничное значение буксования может быть определено из следующего выражения:

$$\delta_{i,n} = \left[\lambda \cdot d \cdot \frac{(M \cdot f_n + P_{al,n})}{4} + \frac{P_{Tn}}{(M \cdot f_n + P_{al,n})} \right] \cdot 100. \quad (10)$$

На основе выражения (10) определены режимы целесообразного включения переднего моста автомобилей многоцелевого назначения типа 4Х4 (Урал-43206), 6Х6 (Урал-4320-31) 8Х8 (Урла-5323-01). В ходе моделирования установлено, что включение в работу переднего моста целесообразно при движении с буксованием более 3 %.

В работе проведено экспериментальное исследование топливной экономичности АМН типа 4Х4 (Урал-43206), типа 6Х6 (Урал-4320-31), и типа 8Х8 (Урал-532301) с имитацией максимальной нагрузки (4, 6 и 10 т соответственно) при движении по асфальтированной дороге с полным приводом и отключенными передними мостами. Результаты экспериментального исследования показали, что при своевременном переходе от полноприводной схемы к неполноприводной и отключении потока мощности в двух точках, снижение расхода топлива составляет 5...7 %. Причем увеличение скорости движения приводит к увеличению экономической эффективности отключения передних мостов, что связано с увеличением гидравлических потерь в ведущем мосту при увеличении скорости движения.

Для обеспечения возможности блокирования межосевых и (или) межколесных диффе-

ренциалов в процессе движения автомобиля многоцелевого назначения в работе предложен метод предварительного выравнивания угловых скоростей буксующих колес путем приложения тормозного момента к буксующим колесам и (или) уменьшения подачи топлива. В связи с этим, предложены конструкции систем управления блокировкой межосевого и межколесного дифференциалов.

Существенное влияние на эффективность блокирования межколесных и межосевых связей оказывает наличие кинематического несоответствия между мостами автомобиля многоцелевого назначения, при этом одной из основных причин кинематического несоответствия при прямолинейном движении автомобиля многоцелевого назначения является различие в радиусах качения его колес. В исследованиях, выполненных в НАМИ и 21 НИИИ МО РФ, установлена дробно-линейная (гиперболическая) зависимость радиуса колеса от давления воздуха в шинах. Следовательно, кинематическое несоответствие, возникающее при прямолинейном движении между ведущими мостами автомобиля многоцелевого назначения, можно устранить путем изменения давления воздуха в шинах. Таким образом, для обеспечения требуемой подвижности автомобиля многоцелевого назначения при движении в сложных дорожных условиях в систему управления блокированием дифференциалов необходимо интегрировать систему регулирования давления воздуха в шинах (СРДВШ).

Для корректировки кинематического несоответствия необходимо существенное повышение быстродействия СРДВШ. В работе показано, что наиболее эффективным способом повышения быстродействия в зоне низких давлений воздуха (ниже 0,15 МПа) является применение корректирующих устройств эжекторного типа.

Оснащение автомобилей многоцелевого назначения предложенными средствами введения и корректировки параметров блокированной связи позволяет повысить на 6...8 % среднюю скорость движения по размокшим грунтовыми дорогам и бездорожью и снизить на 10...15 % расход топлива по сравнению с серийными автомобилями многоцелевого назначения. В целом рациональное передаточное отношение межосевого дифференциала в комплексе с блокированием межколесных и межосевых связей позволяет повысить на 6...10 % среднюю скорость движения и снизить на 5...10 % расход топлива (рис. 2.).

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

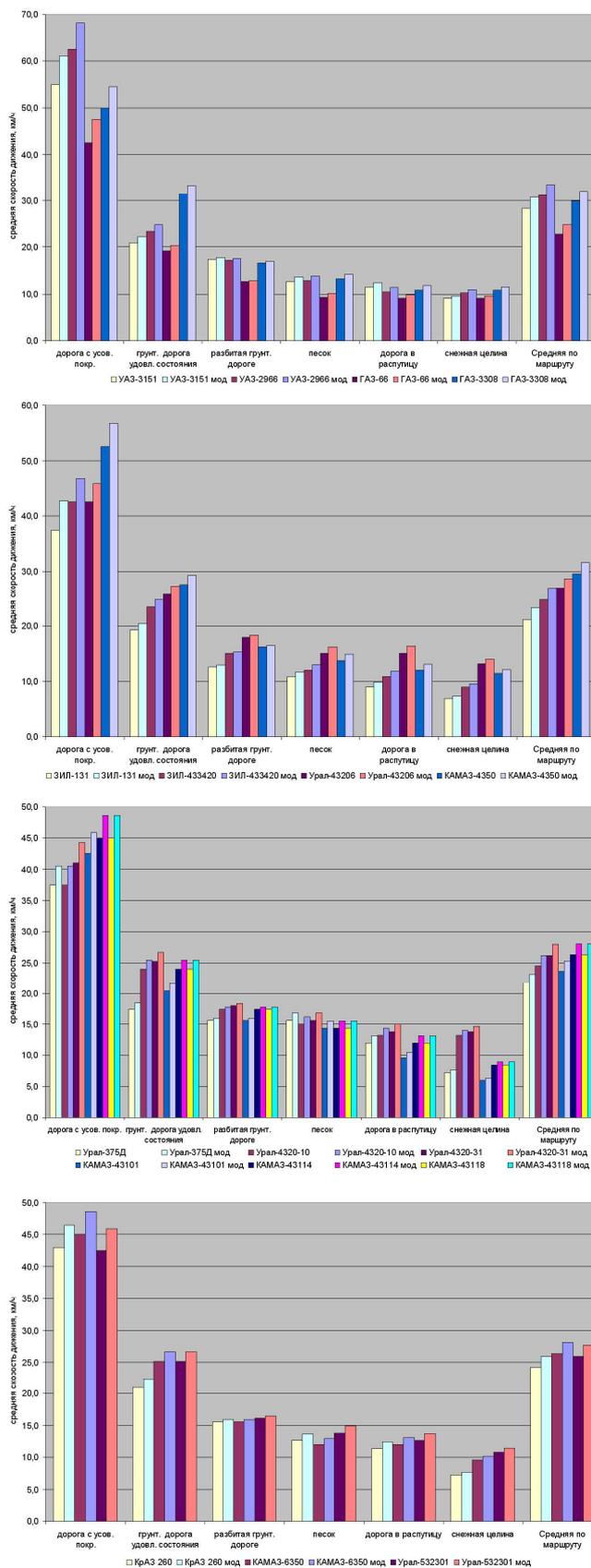


Рис. 2. Сравнительная оценка скоростных свойств автомобилей многоцелевого назначения с различными методами распределения мощности

Выводы

На основе имитационного моделирования исследованы и обоснованы технические решения по совершенствованию распределения мощности между ведущими колесами автомобилей многоцелевого назначения посредством механической трансмиссии, реализующие: рациональное распределение мощности между ведущими мостами; метод периодически отключаемого полного привода; метод управления буксованием ведущих колес путем приложения тормозного момента и (или) уменьшения подачи топлива; метод блокирования межколесных и межосевых связей.

Имитационное моделирование показало, что оснащение автомобилей многоцелевого назначения межосевым дифференциалом с рекомендованным передаточным отношением позволяет повысить на 5...9 % среднюю скорость движения по твердым опорным поверхностям и снизить на 6...8 % расход топлива по сравнению с серийным автомобилем многоцелевого назначения.

Экспериментальное исследование топливной экономичности автомобилей многоцелевого назначения показало, что при равномерном движении по асфальтобетонному шоссе без значительных дополнительных сил сопротивления движению (разгона, подъема, буксирования) автомобили с отключенными передними мостами имеют лучшие показатели топливной экономичности. Снижение расхода топлива составляет при переходе от полноприводной схемы к неполноприводной 5...7 %. Причем увеличение скорости движения приводит к увеличению экономической эффективности отключения передних мостов, что связано с увеличением гидравлических потерь в ведущем мосту при увеличении скорости движения.

Для обеспечения возможности блокирования межосевых и (или) межколесных дифференциалов в процессе движения автомобилей многоцелевого назначения предложен метод предварительного выравнивания угловых скоростей буксующих колес путем приложения тормозного момента к буксующим колесам и (или) уменьшения подачи топлива и разработаны средства его реализации.

Оснащение автомобилей многоцелевого назначения предложенными средствами блокирования силового привода и корректировки кинематического несоответствия позволяет повысить на 6...8 % среднюю скорость движения по грунтовым дорогам и бездорожью и снизить на 10...15 % расход топлива по сравнению с серийным автомобилем многоцелевого назначения.

Библиографический список

1. Мурог, И. А. Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами полноприводных армейских автомобилей [Текст] / И. А. Мурог, А. В. Келлер – Челябинск, 2009 – 218 с.
2. Плиев, И. А. Особенности теории и конструирования полноприводных автотранспортных средств с «интеллектуальными» трансмиссиями [Текст] / И. А. Плиев, А. М. Сайкин, А. А. Ахмедов, А. В. Архиров – М.: Изд-во ФГУП «НАМИ», 2012 – 158 с.
3. Мурог, И. А. Методика оптимизации распределения мощности в трансмиссиях автомобилей многоцелевого назначения [Текст] / И. А. Мурог, А. В. Келлер, А. Н. Торопов И. А. // Многоцелевые гусеничные и колесные машины: актуальные проблемы пути их решения: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения М. Ф. Балжи. – ЮУрГУ – Челябинск., 2008. – С. 79-85.

MODERNIZATION OF THE TRANSMISSION MULTI-PURPOSE VEHICLES

I. A. Myrog, E. S. Tereshchenko,
D. YU. Fadeev, D.V. Shabalin

On the basis of simulation modeling investigated and substantiated by the technical-technological solutions to improve the allocation of power between the leading wheels of cars multi-purpose by means of a mechanical transmission, implement: rational distribution of power between the leading axles; the method of periodically switchable all-wheel drive; method of management of a slipping drive wheel by the application of brake torque and (or) reduction of the fuel supply; method of blocking the automatic brake and axial connections.

Мурог Игорь Александрович – кандидат технических наук, профессор, заместитель губернатора Челябинской области. Основные направления научной деятельности: методика совершенствования и модернизации конструкции автомобилей многоцелевого назначения. Общее количество работ: 95. pr06@reginf.urb.ac.ru

Терещенко Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры двигателей Омского филиала Военной академии материально-технического обеспечения. Основные направления научной деятельности: автоматизация систем управления двигателями транспортных средств многоцелевого назначения. Общее количество работ: 37. tesa1978@mail.ru

Фадеев Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры двигателей Омского филиала Военной академии материально-технического обеспечения. Основные направления научной деятельности: автоматизация систем управления двигателями транспортных средств многоцелевого назначения. Общее количество работ: 34. dima11780@inbox.ru

Шабалин Денис Викторович – кандидат технических наук, преподаватель кафедры двигателей Омского филиала Военной академии материально-технического обеспечения. Основные направления научной деятельности: автоматизация систем

управления двигателями транспортных средств многоцелевого назначения. Общее количество работ: 35. shabalin_d79@mail.ru

УДК 656.1

УРОВНИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Е. А. Петров, В. А. Краус

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения интеллектуальной транспортной системы и разработки комплекса поддержки принятия решений с использованием алгоритмов расчёта управляющих воздействий на транспортный поток, экономической эффективности использования различных решений.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, автоматизированная система управления дорожным движением, безопасность дорожного движения.

Введение

Транспортные заторы становятся все более актуальной проблемой в мегаполисах. Поэтому местные органы власти должны постоянно работать над максимизацией эффективности подведомственной им улично-дорожной сети (УДС), сводя при этом к минимуму последствия нарушений движения, связанные с дорожно-транспортными происшествиями (ДТП) и проведением различных мероприятий.

Изменившиеся условия мобильности, характеризующиеся увеличением количества автомобилей в течение последних лет, привели к повышению нагрузки на дорожную транспортную инфраструктуру и окружающую среду. Растущую потребность в улучшении условий передвижения нельзя полностью удовлетворить ни внутри населённых пунктов, ни за их пределами только лишь созданием новых транспортных сообщений или проведением иных строительных мероприятий [2]. С целью выхода из сложившейся ситуации необходимо внедрение сложнейшего комплекса технических и программных средств, проведение соответствующих организационных мероприятий, опирающихся на передовые достижения науки и техники.

Интеллектуальная транспортная система (ИТС) является важным инструментом для управления и информирования всех участников движения на УДС, которая автоматически реагирует на колебания в интенсивности и скорости движения транспорта, происшествия, мероприятия и др. благодаря использованию многих источников данных, в том числе

детекторов транспорта, бортовых устройств. Создание ИТС, использующей самые прогрессивные технологии управления, позволяет получить множество преимуществ, включая сокращение транспортных заторов, увеличение пропускной способности УДС и повышение безопасности движения, что в свою очередь идет на пользу местной окружающей среде и экономике.

Основная часть

Современные системы организации и управления дорожным движением в составе ИТС должны учитывать любые изменения транспортной ситуации, все виды перевозок и транспортных корреспонденций в городских районах, в том числе для приоритетного движения средств транспорта общественного пользования, не создавая при этом помех движению остальных участников дорожного движения, обеспечивать надежный альтернативный способ передвижения.

Архитектура ИТС (рис. 1.) подразделяется на три уровня:

периферийный – дорожные контроллеры, детекторы транспорта, светофоры знаки и табло переменной информации и др.;

центральный (оперативный) – программные комплексы, осуществляющие управление непосредственно периферийным оборудованием;

стратегический – программные комплексы, осуществляющие агрегацию и управление комплексами центрального уровня.

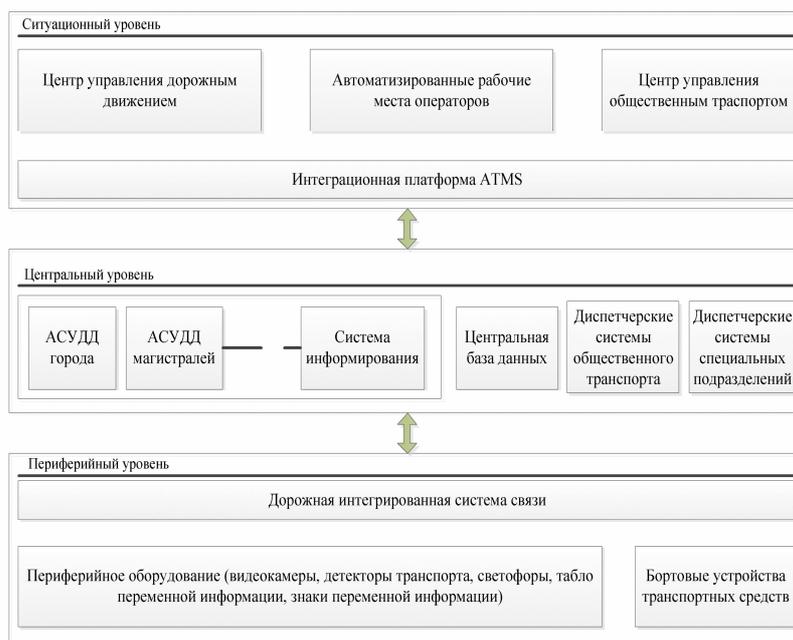


Рис. 1. Функциональная структурная схема ИТС

Интеграция компонентов ИТС центрального уровня (АСУДД города, АСУДД магистралей, автоматизированная система обнаружения инцидентов, видео система, система приоритетного проезда общественного транспорта, система публикации данных для участников движения и др.) в систему уровня- ATMS (*Advanced Traffic Management System*), напри-

мер *Networks*© производства компании *DELSCAN*, или с иными системами различной степени сложности. Системы такого рода (рис. 2) объединяют множество подсистем, устанавливая единое управление и администрирование ими посредством единого интерфейса *GUI* (*Graphical User Interface*).



Рис. 2. Функциональная структурная схема интеграционной платформы ATMS

В настоящее время в современных ИТС, в том числе в составе адаптивных систем управления дорожным движением [4] обрабатываются следующие типы событий:

- аварийное событие (*Incident Event*);
- событие закрытия/перекрытия (*Closure Event*);
- информационное событие (*Events/Info Event*);

- событие дорожных или строительных работ (*Roadwork/Construction Event*);
- событие затора (*Congestion Event*);
- событие ограничения (*Restriction Event*);
- событие условий (*Conditions Event*);
- событие угрозы (*Hazards Event*).

Указанная информация в виде агрегированных данных поступает от множества центральных подсистем (рисунок 3).

Принцип действия стратегического программно-аппаратного комплекса следующий: агрегированная информация от подсистем центрального уровня поступает на интеграционную платформу *ATMS*, где далее информация транслируется в комплекс поддержки принятия решений, в составе, которой обязательно наличие следующих подсистем:

- подсистема моделирования (*AIMSUN, VISSIM/VISUM*);
- подсистема прогнозирования, мониторинга транспортных потоков в реальном масштабе времени;
- подсистема/модуль определения стратегий управления.

Расчёт и обработка исходных данных может выполняться, например, с использованием системы *Software Platform for Processing Traffic and Travel Data* от компании *GEWI*, историческую базу данных предоставляет, например пакет *VISSIM* и *VISUM*. Обработанная информация поступает в комплекс *AIMSUN* и *AIMSUN ONLINE*.

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0 e^{-kt} & \text{npu } 0 \leq t \leq t_{np} - t_T \quad \text{u} \quad \lambda < \lambda_3 \\ \frac{\lambda_0}{t_T} [1 - e^{-k(t_{np} - t_T)}] (t - t_{np}) + \lambda_0 & \text{npu } t_{np} - t_T < t \leq t_{np} \quad \text{u} \quad \lambda < \lambda_3, \\ \lambda(t) = \text{const} & \text{npu } \lambda \geq \lambda_3 \end{cases}$$

где λ - интенсивность движения на выходе с перекрёстка; k - коэффициент приведения; t - время проезда; t_{np} - время движения по перегону при $v = \text{constant}$; t_T - время торможения (формирования) группы ТС.

Верхняя строка правой части выражения (1) позволяет отображать характер изменения свойств ТП при разъезде группы автомобилей движущихся по перегону и может применяться при значениях интенсивности движения транспортного потока не более 300 автомобилей в час.

Средняя строка правой части выражения (1) характеризует изменение свойств ТП группы автомобилей в зоне торможения при движении на запрещающий сигнал светофора, и оно верно для

В настоящее время практически отсутствуют решения, позволяющие не только управлять транспортным потоком (ТП) с использованием систем моделирования, систем координации светофорных объектов, систем информирования, но и обеспечивающие комфортное и безопасное движение в реальном масштабе времени с учётом интенсивности, скорости, интервалов между автомобилями и других параметров (свойств) ТП. В частности в моделях должны быть описаны методы управления дорожным движением [3]. Иными словами практически все расчёты программ координации светофорных объектов, информационных устройств выполняются с использованием классических подходов, например с помощью, популярного программного обеспечения, *TRANSYT*, где свойства ТП используются только в качестве исходных данных и далее при расчётах режимов управления не меняются кроме значений интенсивности и скорости движения.

В настоящей работе предлагается описание решения для подсистемы (модуля) определения стратегий управления, с использованием математического аппарата, рассматриваемого в работе [1].

Для формализации процесса преобразования групп автомобилей было предложено выражение, описывающее изменение мгновенной интенсивности в группе транспортных средств (ТС), следующей между перекрёстками и участками дорожной сети с различной интенсивностью движения транспортного потока:

средних значений интенсивности движения транспортного потока не более 400 автомобилей в час.

Нижняя строка правой части выражения (1) позволяет учитывать изменения свойств ТП на разных стадиях, и представляет собой модель преобразования ТП при движении групп автомобилей при высокой интенсивности движения транспортного потока более 600 автомобилей в час.

Зависимость изменения мгновенной интенсивности движения от времени проезда участка УДС и процессы, происходящие с транспортным потоком при движении группы автомобилей от стоп - линии одного перекрёстка до стоп - линии следующего по ходу движения перекрёстка или транспортной развязки, сечения приведены на рис. 4.



Рис. 3. Перечень центральных подсистем и выходных параметров, поступающих на уровень платформы ATMS

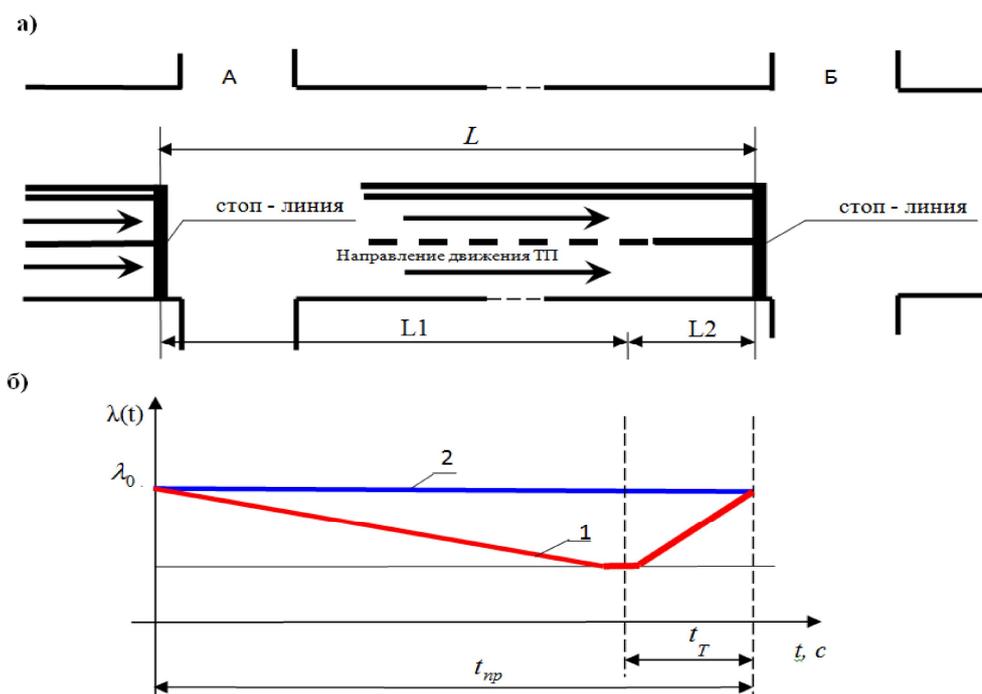


Рис. 4. Зависимость изменения мгновенной интенсивности движения от времени проезда на участке УДС: а) схема участка УДС: $L1$ – зона распада групп ТС (для низких и средних значений интенсивностей); $L2$ – зона торможения (формирования групп); L – длина перегона, м. б) графики зависимости изменения мгновенной интенсивности движения λ от времени проезда t : 1 - при $\lambda \leq \lambda_3$; 2 - $\lambda \geq \lambda_3$; t_{np} - время движения по перегону при постоянной скорости движения; t_T – время торможения группы ТС; λ_0 - интенсивность движения на выходе с перекрёстка

Заключение

Анализ полученной зависимости позволил сделать вывод о том, что характер преобразования транспортного потока в те или иные формы (группы) зависит от значения интенсивности движения и момента смены запрещающего сигнала светофора (или другого информационного устройства) на разрешающий, то есть сдвига фаз светофорного регулирования. Таким образом, оптимизация величины сдвига фаз светофорного регулирования при заданном значении интенсивности движения является главной задачей нового подхода в управлении движением ТП, заключающемся в комбинированном управлении процессом сохранения групп ТС при движении на перегонах УДС. В рамках нового подхода можно выделить основной принцип управления группами автомобилей, когда разрешающий сигнал светофора включается до начала торможения лидеров группы автомобилей (сдвиг фаз светофорного регулирования в зоне опережения).

Сдвиг фаз светофорного или информационного регулирования следует смещать в зону

опережения в тех случаях, когда распад групп ТС при их подходе к светофору (информационному устройству) практически отсутствует, а помехи движению (запрещающий движение сигнал светофора или другого информационного устройства) могут вызвать остановку группы транспортных средств.

Предлагаемое решение наиболее полно подходит в качестве компонента в модуле определения стратегий управления ТП, где по результатам предоставленных верифицированных данных о свойствах транспортного потока в комплексе *AIMSUN ONLINE (VISSIM/VISUM ONLINE)* выбирается необходимый сценарий управления с учётом свойства транспортного потока.

Модуль определения стратегий управления, с использованием выражения (1) позволяет определять наиболее безопасный и эффективный способ ситуационного управления ТП, с учётом изменения его свойств, который можно использовать в составе математического обеспечения комплекса поддержки принятия решений (рис. 5).



Рис. 5. Упрощенная структурная схема комплекса поддержки принятия решений по управлению транспортными потоками

Таким образом, мониторинг значений свойства транспортных потоков на всем протяжении УДС (в каждом районе, участке) и выполнение соответствующих проверок и условий в модуле определения стратегий управления позволит наиболее точно обеспечивать реализацию парадигмы комфортного и безопасного передвижения транспортных средств.

Библиографический список

1. Петров Е. А. Совершенствование координированного управления движением транспортных потоков высокой интенсивности. Автореф. дис. канд. тех. наук. – Тюмень, 2004. – 24 с.
2. Петров Е. А. Современное программное обеспечение для автоматизированной системы управления дорожным движением // Транспортная стратегия – XXI век. – 2011. - № 12. – С. 60-61.
3. Петров Е. А., Сухоченков А. С. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Автомобильные дороги. - 2011. - № 4. - С. 70-71.
4. Петров Е. А., Вольф Даниел. Адаптивная система управления дорожным движением в составе городской ИТС // Дорожная Держава. – 2012. - № 40. – С. 46-49.

MANAGEMENT LEVELS OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

E. A. Petrov, V. A. Kraus

The article lights up the ITS architecture and regarding the development of decision-making support complex by means of estimation algorithms of administrative actions on the traffic flow, including an economic usage efficiency of different solutions.

Петров Евгений Александрович – канд. техн. наук, директор департамента решений на транспорте, генеральный конструктор проекта ИТС г. Москвы ЗАО «Ситроникс КАСУ». Основные направления научных исследований - разработка архитектуры интеллектуальной транспортной системы; изучение свойств транспортных потоков и создание методов управления ими. Имеет более 10 опубликованных работ. E-mail: epetrov@sitronics.com

Краус Валентина Александровна – аспирантка Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. Основное направление научных исследований – управление движением транспортных и пешеходных потоков. Имеет 3 опубликованные работы. E-mail: kdkv@mail.ru

УДК 621.813

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ ПРИ СБОРКЕ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В. Л. Соловьев

Аннотация. В статье объясняется несовершенство контроля усилия затяжки по вращающему моменту. Приведены расчетные зависимости момента от усилия затяжки и результаты экспериментальных исследований. Предложен способ повышения точности и равномерности затяжки групповых резьбовых соединений при сборке ремонтируемых узлов машин.

Ключевые слова: резьбовое соединение, момент затяжки, усилие затяжки, коэффициент трения, динамометрический ключ.

Введение

Качество сборки групповых резьбовых соединений, главным образом, определяется точностью и, как следствие, равномерностью распределения усилий затяжки.

По результатам исследований машинно-тракторного парка в хозяйствах Омской области 70 % отказов, связанных с резьбовыми соединениями, произошло по причине неточной затяжки. Неточная и неравномерная затяжка является причиной отказов при эксплуатации техники в виде повышенной вибрации деталей, самоотвинчивания гаек (болтов), интенсивного износа и деформации резьбы, разрушений резьбовых соединений, деформации стянутых деталей и течи рабочих жидкостей в области стыков. Поэтому усилие затяжки ответственных соединений должно контролироваться с определенной точностью, как на стадии производства, так и при ремонте и техническом обслуживании машин [1].

Основная часть

Существуют различные методы контроля усилия затяжки резьбовых соединений, но в эксплуатации машин в основном применяют метод контроля усилия по моменту. Этот метод прост в выполнении, но обладает низкой точностью контроля (обычно $\pm 25-30\%$) [2].

Усилие затяжки создает определенное контактное напряжение на стыке соединяемых деталей, которое должно обеспечить плотность и герметичность стыка при действии рабочей нагрузки на соединение. Величины требуемого усилия и необходимого момента затяжки, для какой-либо резьбовой группы, рассчитываются при конструировании узла. Величина усилия затяжки определяется исходя из величины рабочей (внешней) нагрузки, а величина момента затяжки рассчитывается по определенной математической зависимости (выражение 1).

Расчетная зависимость момента затяжки (завинчивания) от усилия затяжки:

$$T_{\dot{C}A\dot{O}} = T_{\dot{C}A\dot{A}} = 0.5 \cdot F_0 \cdot d_2 \left(f_T \frac{D_1}{d_2} + f_P \right) + F_0 \cdot \frac{P}{2\pi}, \quad (1)$$

где f_T – коэффициент трения на опорной поверхности гайки;

f_P – приведенный коэффициент трения в резьбе;

F_0 – усилие затяжки;

P – шаг резьбы;

d_2 – средний диаметр резьбы;

D_1 – средний диаметр опорной поверхности гайки (головки болта).

Зависимость момента отвинчивания от усилия затяжки:

$$T_{\dot{O}A} = 0.5 \cdot F_0 \cdot d_2 \left(f_T \frac{D_1}{d_2} + f_P \right) - F_0 \cdot \frac{P}{2\pi}. \quad (2)$$

По мере наработки состояние резьбовых пар изменяется (резьба ржавеет, деформируется, загрязняется, изнашивается и т.д.), при этом коэффициенты трения сопрягаемых поверхностей резьбовых соединений рассеиваются в широком диапазоне (0.05-0.5), что непосредственно влияет на зависимость момента от усилия и обуславливает неточность и неравномерность затяжки.

Коррозия и абразивные частицы, попадающие в резьбовое соединение, изменяют шероховатость трущихся поверхностей, увеличивают силы трения и, тем самым, снижают точность контроля.

В результате пластической деформации витков нарушается симметричность профиля резьбы болта и гайки, из-за чего может происходить заедание (сцепление) в резьбе. В таком случае часть прикладываемого момента будет «расходоваться» на преодоление сил сопротивления от заедания, а не на обеспечение усилия затяжки.

Также обеспечение расчетного усилия затяжки зависит от наличия и вида применяе-

мых смазок. ОСТ 37.001.050 – 73 «Затяжка резьбовых соединений. Нормы затяжки» регламентирует случай применения смазок при сборке, и поясняет, что расчетная величина момента затяжки должна быть уменьшена в зависимости от вида смазки. Величина данной коррекции определяется экспериментально и представляется весьма трудоемкой операцией в условиях эксплуатации [3].

Одной из причин неравномерной затяжки может стать наличие (отсутствие) смазки в отдельных резьбовых соединениях группы. Например, в креплении головки блока цилиндров двигателя ЗИЛ-130 средний ряд болтов расположен под крышкой клапанов, что не исключает попадание моторного масла в соединения данного ряда в процессе работы двигателя, при этом остальные болты группы, расположенные снаружи, подвергаются воз-

действию коррозии и загрязнения при эксплуатации.

Стоит отметить, что восстановление резьбового отверстия корпусной детали расточкой и нарезанием резьбы под больший диаметр, также окажет влияние на зависимость момента от усилия затяжки, т.к., помимо коэффициентов трения, изменятся и размерные величины резьбы и головки болта (выражение 1).

Для того чтобы выяснить насколько влияет состояние резьбовой пары на точность обеспечения усилия затяжки, автором было сконструировано устройство для нагружения резьбовых пар «шпилька-гайка» (рис.1.). Устройство включает в себя: сборный корпус, динамометрическую пружину с индикатором часового типа и экспериментальные образцы резьбовых пар различного диаметра.



Рис. 1. Устройство для нагружения резьбовых пар «шпилька-гайка» и динамометрический ключ

Принцип работы устройства следующий: устанавливается резьбовая пара, динамометрическим ключом прикладывается момент к гайке, который создает усилие затяжки, пружина получает деформацию растяжения, величина которой измеряется индикатором. Величина деформации пружины тарирована с величиной действующего на нее усилия. По тарировочной характеристике определяется значение этого усилия.

В ходе опытов производились замеры усилий затяжки при различных состояниях резьбовой пары: новая, новая смазанная,

ржавая, ржавая смазанная. Корродирование резьбовой пары производилось раствором азотной кислоты. В качестве смазочного материала применялось моторное масло и тормозная жидкость.

На графике (рис. 2.) представлены зависимости усилий затяжки от моментов для 5-ти состояний резьбовой пары «шпилька-гайка» М16×2. Из графика следует, что при одном и том же моменте, в зависимости от состояния резьбовой пары, усилия затяжки создаются разные. В таблице 1 представлены численные значения этих усилий.



Рис. 2. График зависимостей усилий затяжки от моментов при различных состояниях резьбовой пары (1 - новая; 2 – новая смазана моторным маслом; 3 – после корродирования, сухая; 4 – после корродирования промыта в тормозной жидкости; 5 – после корродирования смазана моторным маслом)

Таблица 1 – Значения усилий затяжки при различных состояниях резьбовой пары

Момент затяжки, Нм	Усилие затяжки при различных состояниях резьбовой пары, Н				
	1	2	3	4	5
17.74	5000	6000	2545	3787	3939
35.49	10000	12324	4969	7878	8181
53.24	15000	19035	8593	12895	13101

В результате можно сказать, что момент, рассчитанный на стадии конструирования, не обеспечит расчетного усилия при затяжке резьбовых соединений узлов, имеющих определенную наработку. Поэтому момент, установленный заводом-изготовителем на какую-либо резьбовую группу, должен быть скорректирован для каждого резьбового соединения, составляющего групповое, с учетом его фактического состояния.

В связи с этим предлагается использовать при сборке групповых соединений способ контроля усилия затяжки по отношению моментов отвинчивания и завинчивания. Точность такого контроля составляет $\pm 10\%$ [4].

Решая совместно уравнения (1) и (2) получим:

$$T_{\text{EE}} = \frac{F_0 \cdot P}{\pi \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{IOA}}}{T_{\text{CAA}}}\right)} \quad (3)$$

По зависимости (3) можно вычислить значение необходимого момента на ключе для обеспечения требуемого усилия затяжки. Для этого нужно знать величину усилия затяжки, которое обеспечит плотность стыка, шаг резьбы, и динамометрическим ключом определить значения моментов завинчивания и отвинчивания для конкретной резьбовой пары.

Однако, для того чтобы верно рассчитать момент на ключе необходимо точно установить действительное отношение моментов $T_{\text{отв}}/T_{\text{зав}}$, т.к. для контроля с точностью $\pm 10\%$ необходимо учитывать даже сотые доли частного от деления моментов. Сложность в установлении действительного отношения $T_{\text{отв}}/T_{\text{зав}}$ обусловлена тем что, значение момента отвинчивания может варьироваться в зависимости от скорости вращения ключа при затяжке, т.к. скорость влияет на величину приращения усилия затяжки. Чем больше скорость вращения ключа – тем больше прира-

шение усилия, при одном и том же значении момента, и наоборот. Кроме того при замере моментов завинчивания и отвинчивания имеют место разные коэффициенты трения (скольжения и покоя соответственно).

В ходе исследований был разработан технологический приём, позволяющий достаточно верно установить действительное значение отношения моментов.

Произвольно выбирается угол поворота гайки (болта), исключающий перехват ключа (наиболее удобный – 90 градусов). Гайка навинчивается до соприкосновения с опорной поверхностью и поворачивается на выбранный угол. При этом в резьбовом соединении создается некоторое усилие затяжки и распределение контактных давлений. Точным динамометрическим ключом производится замер моментов завинчивания и отвинчивания при трогании гайки с места из этого положения, значения которых и соотносятся.

Для выполнения данного приёма рекомендуется использовать динамометрические ключи, позволяющие определять значения моментов до сотых долей. Для этого можно использовать электронные моментные ключи, а также ключи, тарированные по величине деформации изгиба рукоятки (рис. 1.).

Заключение

Данный приём позволяет достаточно верно установить значение отношения моментов для конкретной резьбовой пары. При необходимости повторного замера моментов, с целью уточнения, гайку необходимо «отпустить», затем в такой же последовательности действий повернуть строго на выбранный угол и повторить замер.

Для автоматизации математических вычислений при сборке многоболтовых соединений автором была написана программа для ЭВМ на языке программирования Delphi 7, позволяющая одновременно определять значения моментов на ключе для каждого резьбового соединения, составляющего групповое.

Таким образом, для того чтобы произвести точную и равномерную затяжку группового соединения сборщику необходимо определить моменты завинчивания и отвинчивания для каждого резьбового соединения, применяя вышеописанный приём, и ввести расчетные данные в программу, которая выдаст значения необходимых моментов на ключе для каждой резьбовой пары.

Важно знать, что для равномерной затяжки групповых соединений, затяжка каждого

соединения, составляющего групповое, должна производиться с одинаковой скоростью вращения ключа.

Применение способа контроля усилия затяжки по отношению моментов при сборке ремонтируемых узлов машин позволит повысить точность и равномерность затяжки групповых резьбовых соединений, следовательно, и их надежность, тем самым, уменьшить количество отказов, время простоя техники в ремонте и сократить расходы на ремонт.

Библиографический список

1. Корнилович, С. А. Пути обеспечения плотности стыка резьбовых соединений при производстве, техническом обслуживании и ремонте машин сельскохозяйственного назначения / С. А. Корнилович, В. Л. Соловьев // Омский научный вестник. – 2013. - №1 (117). – С. 68 – 71.
2. Утенков, В. Д. Влияние технологических факторов на точность и равномерность усилия затяжки ответственных резьбовых соединений в условиях автоматизированной сборки: дис. ... к-та техн. наук: 05.02.08 / В. Д. Утенков. – Москва, 1984. – 182 с.
3. ОСТ 37.001.050-73. Затяжка резьбовых соединений. Нормы затяжки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://exkavator.ru/other/files/gost/ost37.001.050-73.pdf> (дата обращения: 26.03.2013)
4. Иосилевич, Г. Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Ю. В. Шарловский. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

IMPROVING THE ACCURACY OF TORQUE CONTROLLED PRELOADING WHILE ASSEMBLING OF GROUP THREADED CONNECTIONS DURING MAINTENANCE OF DIFFERENT MACHINERY

V. L. Solovov

The article illustrates imperfection of torque controlled preloading. It illustrates mathematic relationship between torque and preload force and gives experimental results. The article offers the method of increase of torque controlled preloading accuracy during maintenance operations of machines.

Соловьев Владлен Леонидович - аспирант 3-го года обучения, кафедры «Технология машиностроения и технический сервис», факультета «Технический сервис в АПК» ОмГАУ. Направление научных исследований – технологии и средства технического обслуживания машин сельскохозяйственного назначения. E-mail: vladlen_solovov@bk.ru

РАЗДЕЛ II

СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 625.731

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

Е. В. Иванов, А. Л. Исаков, В. В. Сиротюк

***Аннотация.** Выполнена обработка экспериментальных данных исследования температурного поля земляного полотна из золошлаковой смеси. Рассмотрено моделирование температурного поля по методике расчета глубины промерзания грунтов земляного полотна, реализованной в программе Freeze-1. Произведено сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов. Сделаны выводы об адекватности методики.*

***Ключевые слова:** водно-тепловой режим, земляное полотно, методика расчета, температурное поле, золошлаковая смесь.*

Введение

Водно-тепловой режим дороги – сложный процесс изменения температурного и влажностного полей в массиве грунта. Изучение этого процесса особенно важно в периоды осеннего влагонакопления и зимнего промерзания земляного полотна. На основе моделирования исследуемых процессов можно сделать вывод о пригодности конкретного грунта для строительства в данных климатических условиях, рекомендовать конструктивные решения для повышения устойчивости земляного полотна.

Разработано множество методик и программ по расчету водно-теплого режима. Однако они ориентированы на использование традиционных грунтов (песок, супесь, суглинок, глина) в качестве материала земляного полотна. Золошлаковые смеси (ЗШС) можно рассматривать как особую разновидность техногенного грунта, получаемого при сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях, при совместном удалении золы-уноса и шлака в золоотвалы. ЗШС обладают специфическими физико-механическими свойствами, такими как микропористость частиц, малый объемный вес, низкий коэффициент теплопроводности в сухом и водонасыщенном состоянии, повышенная влагоудерживающая способность [1, 2].

Уникальные свойства данных материалов оказывает эффект на водно-тепловой режим

земляного полотна. Земляное полотно из ЗШС промерзает с гораздо меньшей скоростью и на меньшую глубину, нежели из традиционно используемых при строительстве грунтов. В то же время повышенная влажность ЗШС в совокупности с медленным промерзанием не означает, что этот материал обладает высокой степенью пучинистости. Важными характеристиками, влияющими на величину деформации морозного пучения дорожной конструкции, являются глубина и скорость промерзания этой конструкции.

Основная часть

Определение этих характеристик производилось в процессе исследования полномасштабной модели земляного полотна. В 2010 году в СибАДИ сооружен экспериментальный участок земляного полотна из ЗШС [3]. Для насыпи использована ЗШС из золоотвала ТЭЦ-5 г. Омска, полученная при сжигании Экибастузского угля. Конструкция представляет собой насыпь высотой 1,2 м с дорожной одеждой: щебень фракционный с расклинцовкой 18 см, мелкозернистый, горячий асфальтобетон 7 см (рис.1.). Основание насыпи сложено из суглинка легкого.

Снятие отсчётов температуры с датчиков термокос производилось с начала промерзания до полного оттаивания грунта. Также фиксировалась соответствующая среднесуточная температура воздуха (рис. 4.).

сировалась соответствующая среднесуточная температура воздуха (рис. 4.).

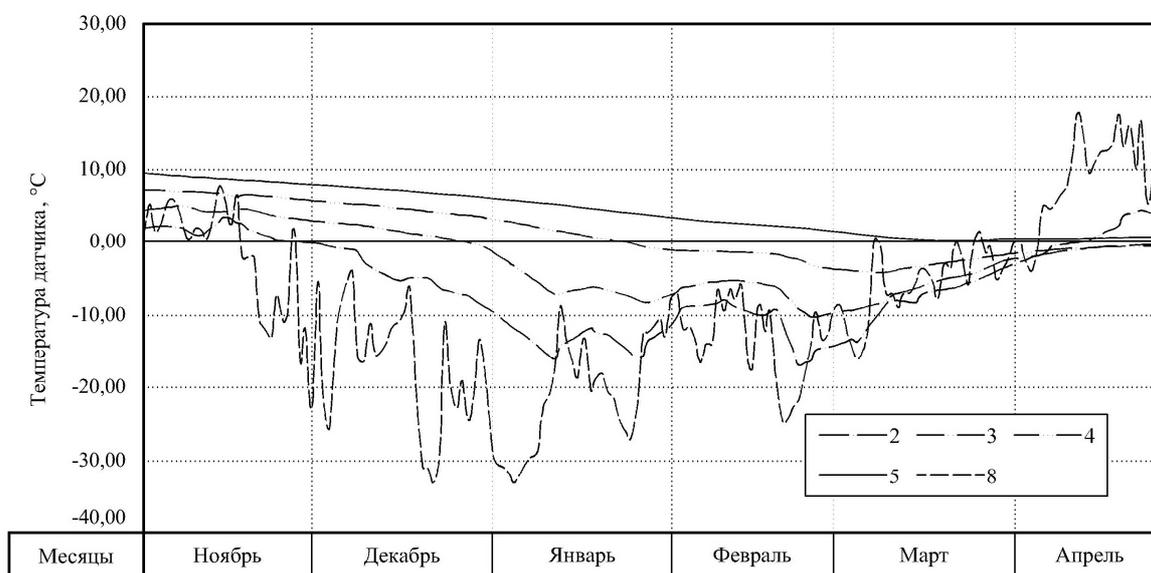


Рис. 4 . Диаграмма изменения температуры датчиков и окружающего воздуха в зимний период 2010-2011 года (дата начала 1 ноября 2010 г.): 2, 3, 4, 5 – среднесуточная температура датчиков термокосы (номера датчиков соответствуют рис.3), 8 – среднесуточная температура окружающего воздуха

Анализируя данные по температурным показателям, снятым с датчиков термокосы, можно сделать заключение, что глубина распространения изотермы $T=0,0^{\circ}\text{C}$ не достигает основания насыпи. Для того чтобы в дальнейшем прогнозировать глубину и скорость промерзания земляного полотна из ЗШС в конкретных климатических условиях необходимо выбрать и адаптировать методику расчета температурного поля под специфические свойства ЗШС.

Используя методику расчета глубины промерзания грунтов земляного полотна, реализованную в программе Freeze-1 [4, 5], произведен расчет глубины промерзания земляного полотна из ЗШС на участке с 1-ой схемой увлажнения рабочего слоя зимой 2010-2011 года. Одномерная расчетная схема, используемая в методике, позволяет получить распределение температур по глубине земляного полотна для произвольного момента времени t .

Температура i -го элемента на шаге времени $t+\Delta t$ определяется следующим выражением [4]

$$T_i(t + \Delta t) = T_i(t) + a_i \cdot \left\{ \frac{\lambda_{i-1}}{\lambda_i} \cdot [T_{i-1}(t) - T_i(t)] - [T_i(t) - T_{i+1}(t)] \right\} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta h^2} + \frac{Q_{\Phi}(\Delta t)}{C_i} \Big|_{T=T_{\Phi}}, \quad (1)$$

где $a_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i C_i}$ - коэффициент температуропроводности i -го элемента;
 Δh - высота i -го элемента, м;
 ρ_i - плотность i -го элемента, кг/м^3 ;
 λ_i - коэффициент теплопроводности i -го элемента, $\text{Вт/(м}\cdot\text{град)}$;
 C_i - удельная теплоемкость i -го элемента, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{град)}$.

Теплофизические характеристики ЗШС изменяются в широком интервале в зависимости от гранулометрического и фазово-минералогического состава, фактической влажности, агрегатного состояния воды, процентного содержания пористого шлака.

Характеристики ЗШС, используемые при расчете процесса распространения температурного поля, получены из непосредственных лабораторных испытаний образцов и отбором проб с экспериментального участка (табл. 1.).

Таблица 1 – Расчетные характеристики грунта земляного полотна и основания

№ п/п	Наименование материала (расположение)	Расчетные характеристики						
		Плотность твердых частиц ρ_s , кг/м ³	Коэффициент пористости e	Влажность W , д.е.	Удельная теплоемкость твердых частиц C_s , Дж/кг/град	Коэффициент теплопроводности в талом состоянии λ_m , Вт/м/град	Коэффициент теплопроводности в мерзлом состоянии $\lambda_{мр}$, Вт/м/град	Температура замерзания (фазовых переходов) $T_{ф}$, °C
1	Асфальтобетон (покрытие)	2300	-	-	1420	0,75	0,70	0,0
2	Щебень (основание)	2650	0,50	0,05	920	1,16	1,40	0,0
3	Золошлаковая смесь (земляное полотно)	2120	1,43	0,25	1410	0,39	0,60	-0,3
4	Суглинок легкий (основание насыпи)	2700	0,59	0,17	900	1,33	1,51	-0,7

Примечание. Для асфальтобетонного слоя в графе «Плотность твердых частиц» указана плотность материала слоя

Задача решается путем вычисления температуры с помощью выражения (1) в двойном цикле - по глубине с шагом Δh и времени

с шагом Δt . Результат расчета в программе приведен на рис. 5.



Рис. 5. Изменение глубины промерзания земляного полотна из ЗШС во времени (дата начала – 1 октября 2010 г.): 1 – граница промерзания ЗШС ($T_{ф} = -0,3^{\circ}\text{C}$); 2, 3 – граница оттаивания ЗШС ($T = 0,0^{\circ}\text{C}$); 4 – зона интенсивного морозного пучения, ограниченная изотермой $T = -2,0^{\circ}\text{C}$

Главной целью расчета является определение глубины зоны интенсивного морозного пучения под дорожной одеждой. На рис. 5. она обозначена как $H_{пуч}$, а соответствующая ей зона обозначена цифрой 4. $H_{фаз}$ – максимальная глубина промерзания грунта, а соответствующая ей линия 1 – линия промерзания (фазовых переходов). Значения $H_{пуч}$ и $H_{фаз}$ отсчитываются от низа дорожной одежды. Линия 2 ограничивает зону оттаивания грунта снизу, которое происходит при $T = 0,0^{\circ}\text{C}$. За-

вершение оттаивания соответствует точке встречи двух нулевых изотерм – нижней (линия 2) и верхней (линия 3), которая описывает траекторию оттаивания грунта с поверхности.

Таким образом, по результатам расчета земляное полотно из ЗШС промерзло не полностью, грунт основания насыпи не попал в зону интенсивного пучения.

На рис.6. представлены и сопоставлены графики, полученные расчётным и экспериментальным путём.

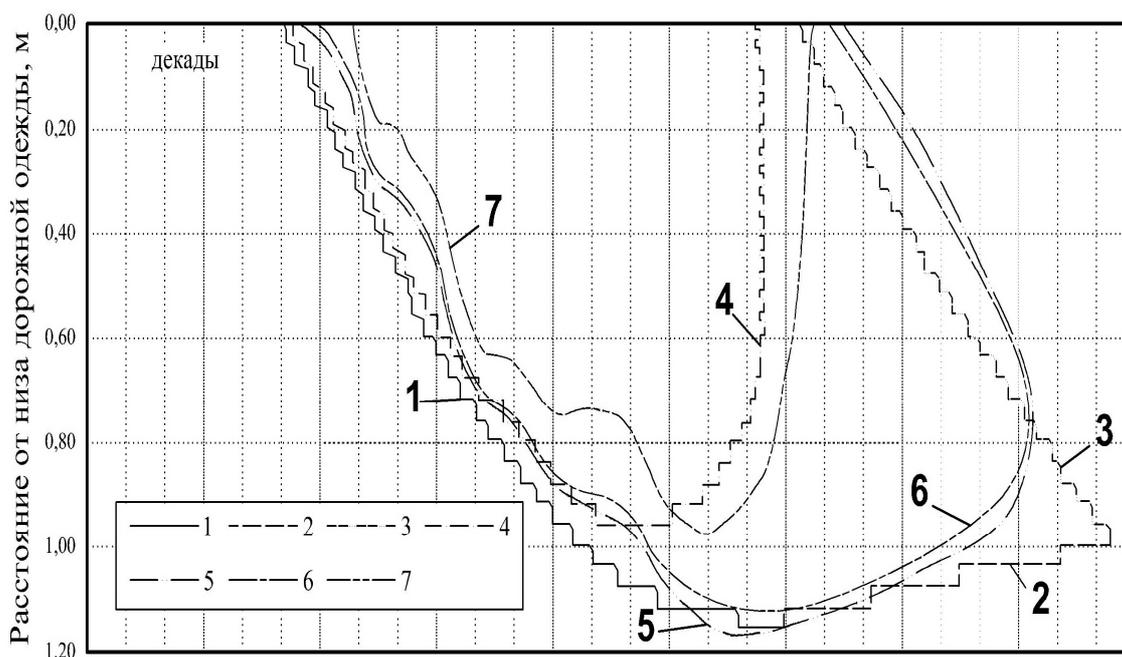


Рис. 6 – Ход изотерм во времени в процессе промерзания насыпи из ЗШС (дата начала – 1 октября 2010 г.): 1, 2, 3, 4 – номера линии соответствуют рисунку 5; 5 – экспериментальная изотерма $T = 0,0^{\circ}\text{C}$; 6 – экспериментальная изотерма $T = -0,3^{\circ}\text{C}$; 7 – экспериментальная изотерма $T = -2,0^{\circ}\text{C}$

Заключение

В результате анализа расчетного и экспериментального распределения температурного поля в земляном полотне из ЗШС можно сделать следующие выводы:

- расчетная глубина промерзания земляного полотна (изотерма $T = -0,3^{\circ}\text{C}$) близка (в пределах точности расчета) к экспериментальной;
- более раннюю расчётную дату начала промерзания (разница с экспериментом – 8 дней) можно объяснить влиянием снежного покрова небольшой толщины, периодически образующивавшегося в ноябре на поверхности покрытия экспериментального участка;
- расчетная скорость промерзания (1,25 см/сут.) близка к экспериментальной (1,29 см/сут.), что позволяет сделать вывод о корректном описании динамики промерзания зем-

ляного полотна в рамках принятой расчетной схемы;

- дискретная модель, положенная в основу расчета по программе Freeze-1, хорошо описывает общий ход изотерм в процессе промерзания земляного полотна из ЗШС по 1-ой схеме увлажнения рабочего слоя.

Библиографический список

1. Иванов Е. В. Физико-механические характеристики золошлаковой смеси Омских ТЭЦ. Материалы 63-ой научно-технической конференции ГОУ «СибАДИ» / СибАДИ. – Омск, 2009. Книга 1. – с. 103-107.
2. Сиротюк В. В., Иванов Е. В. Исследование свойств золошлаковых отходов Омских ТЭЦ для применения в дорожном строительстве. Вестник МАНЭБ / Научно-технический журнал. – С-Петербург, - Изд-во МАНЭБ, 2011. – Том 17, № 2. – с. 66-74.
3. Сиротюк В. В., Иванов Е. В., Шевцов В. Р. Результаты мониторинга опытного участка земляного

полотна автодороги из золошлаковой смеси. Материалы IV Международного научно-практического семинара. Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование. 19-20 апреля 2012 г. / Издательский дом МЭИ. – Москва, 2012. – с. 85-88.

4. Исаков А. Л., Ким Хюн Чол. Теплофизическая дискретная модель промерзания грунта земляного полотна / Транспорт Урала, вып. 2, Екатеринбург, 2012. – с. 121-124.

5. Исаков А. Л., Ким Хюн Чол. Моделирование процесса промерзания земляного полотна на полигоне СГУПС / «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна и искусственных сооружений»: Труды VIII научно-технической конференции. – М., 2011, С. 137-142.

EXPERIMENTAL STUDY AND MATHEMATICAL MODELING OF ROAD BED FREEZING MADE OF ASH MIXTURE

E. V. Ivanov, A. L. Isakov, V. V. Sirotuk

Experimental research data of road bed temperature field made of ash mixture were performed processing. Modeling of temperature field by calculation method of soil freezing depth of road bed realized in the Freeze-1 were considered. A comparison of experimental data and theoretical calculations were performed. The

conclusions about adequacy of calculation method were made.

Иванов Евгений Владимирович, старший преподаватель кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве. Общее количество публикаций – 21. E-mail: ivanoveuvl@gmail.com

Исаков Александр Леонидович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС. Механика сплошных сред, проектирование, расчет и диагностика земляного полотна железных и автомобильных дорог в сложных природных условиях. Общее количество публикаций – более 100. E-mail: mylab@ngs.ru

Сиротюк Виктор Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование дорог» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Применение геосинтетических материалов в дорожных конструкциях, применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве. Общее количество публикаций – более 220. E-mail: sirvv@yandex.ru

УДК 625.7

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ БИОНИЧЕСКОГО ПОДХОДА

М. И. Зимин, С. А. Зимина

Анотация. Рассматриваются проблемы прогнозирования воздействия взаимосвязанных процессов на транспортные сооружения. Описана двухуровневая интеллектуальная система, использованная для предсказания селей и лавин.

Ключевые слова: дорога, сооружение, нагрузка, лавина, сель.

Введение

Обеспечение безопасности эксплуатации транспортных сооружений является неотъемлемым требованием, предъявляемым к современной инфраструктуре. Она, в частности, обеспечивается проектирование мероприятий и конструкций по инженерной защите этих объектов от воздействия природных процессов. Однако в настоящее время отсутствуют математические модели, учитывающие взаимовлияние и комплексный характер различных факторов, приводящих к их возникновению и развитию, что не позволяет прогнозировать многие опасные ситуации, вызывае-

мые неблагоприятным сочетанием различных компонентов. В тоже время их разработка весьма актуальна, поскольку эти явления нередко отличается многоплановостью и взаимодействием различных параметров, информация о которых может быть весьма неопределённой.

Например, достаточно часто серьёзную угрозу для объектов в горной местности представляют снежные лавины. Физические и механические явления в зоне их зарождения не протекают изолированно, а оказывают значительное воздействие друг на друга. Данные о снеге в лавиносборах неточны, так как опас-

ные условия не позволяют осуществить там непосредственные измерения. Погодные условия могут образовывать крайне опасные, хотя и нечасто возникающие сочетания.

Движение лавин также отличается многоплановостью. На него влияют плотность и влажность снега, угол склона и ряд других моментов.

Аналогичные проблемы возникают при прогнозировании селей.

Нельзя также не отметить, что специфика воздействий опасных природных явлений требует не только их прогнозирования, но и оперативной реакции для предотвращения опасного развития ситуации. Математическое и компьютерное моделирование в подобной обстановке весьма желательно, поскольку оно существенно сокращает время принятия решения.

Существующие методики прогнозирования взаимосвязанных процессов, таких как формирование лавин и селей, приведённые, в частности, в [1 – 3] не учитывают взаимовлияние прогностических параметров. Поэтому реальные результаты были получены только для фонового (без указания конкретного очага) предсказания, например, лавин, причём их точность составляет примерно 75 – 90 % [1], что не соответствует требованиям безопасности, и основная часть подобных работ лежит на профессионалах, обладающих высокой квалификацией и опытом работы в конкретных районах. Однако отмеченные с их стороны ошибки могут приводить к тяжёлым последствиям.

Так, по данным работы [3] параметры селя, возникшего в 1977 году в районе г. Тырнауз, были приняты за максимальные, и, согласно проектным расчётам, пропускная способность соответствующего канала составляла 500 м³/с. Выше города была построена селезадерживающая плотина ёмкостью 4000000 м³ из сборных железобетонных конструкций. Однако всего через 2 месяца после завершения работ это сооружение было разрушено селевым потоком, а сошедший в 2000-ом году сель, имевший расход не менее 2000 м³/с, парализовал жизнь города и привёл к гибели людей.

Взаимовлияние исходных данных нарушает основные предпосылки регрессионного

анализа, что делает, по меньшей мере, проблематичным применение статистических методов. По этой же причине нереально непосредственно использовать и нечёткий анализ. Поэтому разработка методик анализа взаимосвязанных процессов, в частности тех, которые воздействуют на транспортные сооружения в горной местности представляет определённый интерес.

Методика прогнозирования

В настоящее время результаты исследований в области биофизики широко применяются для решения задач вычислительного характера. Например, на основе исследований мозга были созданы нейрокомпьютеры, а процессы генетических алгоритмов напоминают биологическую эволюцию. Поэтому работы в этом направлении представляют значительный научно-практический интерес.

Нередко в реальной жизни решения принимаются на основе заключения совета специалистов, причём его руководитель должен быть в состоянии делать окончательный вывод с учётом как своего мнения, так и оценок остальных экспертов. При надлежащей организации такой группы её деятельность может быть очень эффективной даже в условиях неопределённости и отсутствия независимости исходных данных.

Подобные комплексы рассматриваются в рамках синергетического подхода при описании сложных систем в биофизике, чему сейчас уделяется серьёзное внимание. Этому посвящены, например, работа [4]. Благодаря ему были получены результаты, имеющие значительную научную и практическую ценность.

Однако для проектирования подобного программного обеспечения (различающегося при решении разных классов задач) необходимо создание методологии разработки математических моделей, имитирующих коллективную экспертизу системы взаимосвязанных факторов в нечётких условиях, численных методов для их синтеза и технологии компьютерной реализации соответствующих вычислительных технологий.

Процесс синергетического прогнозирования взаимосвязанных процессов можно представить как имитацию работы коллектива экспертов, что иллюстрируется Рис. 1.

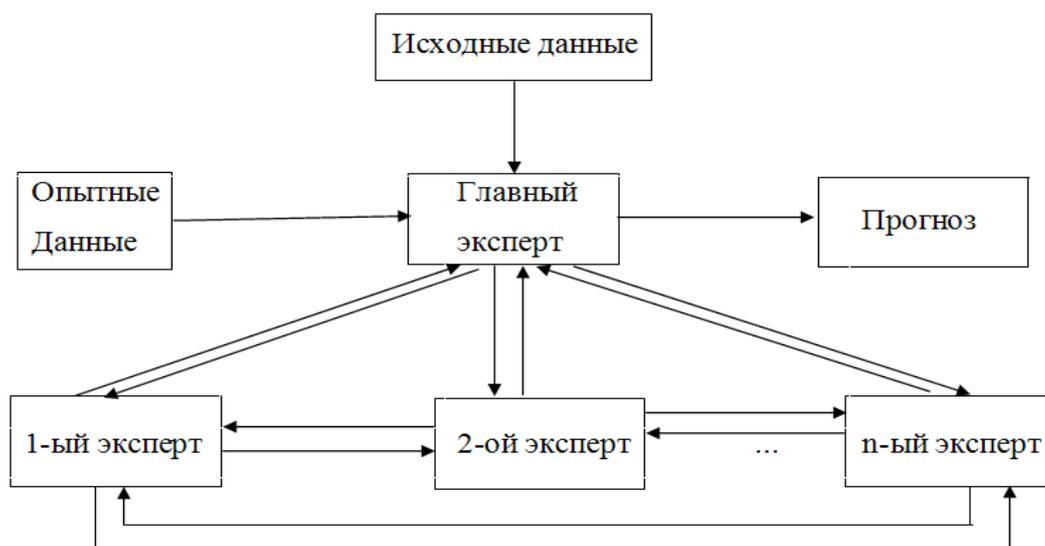


Рис. 1. Имитация работы коллектива экспертов

Через главного эксперта (его действия имитируются основным модулем, представляющим собой первый уровень) исходные данные поступают к каждому из экспертов (их имитируют отдельные вычислительные модули, являющиеся элементами второго уровня). Они могут обмениваться мнениями друг с другом и с главным экспертом. Каждый из них является профессионалом в своей конкретной области, например, метеоролог является специалистом по погодным условиям и связанным с ними стихийным бедствиям.

Модули оказывают влияние друг на друга. Для разработки прогноза основной модуль объединяет информацию от других экспертов и опытные данные. Подобное объединение по существу представляет имитацию анализа коллектива специалистов. Действительно, в лавиноведении решение задачи метелевого переноса характерно для метеорологов, расчёт напряжений и перемещений в слое снега – для специалистов по механике деформируемого твёрдого тела и строительной механике, анализ процессов плавления – затвердевания и испарения – конденсации характерен для теплофизиков.

В частном случае каждый элемент второго уровня может также быть системой, показанной на Рис. 1.

Испытания программного обеспечения, созданного по приведенной схеме, показали приемлемую точность прогнозирования опасных природных процессов. Контрольные расчёты были, например, выполнены для Транскама и Приэльбрусья. Не предсказанные лавины отсутствовали. Общая оправдываемость

прогнозов составила для Транскама не менее 57 %, а для Приэльбрусья – 69 %, причём не во всех случаях, когда по прогнозу снег находился в неустойчивом состоянии осуществлялся снарядный обстрел склонов.

При предсказании селей не удаётся построить единый алгоритм для всех очагов. Это связано с очень большим разнообразием напряженных и деформированных состояний в разных потенциально опасных местах. Поэтому для каждого селевого очага необходимо создавать свою математическую модель.

Таким образом, анализ селевой опасности должен выполняться в следующей последовательности:

1. Выделение селевых очагов.
2. Математическое моделирование физико-механических процессов в каждом селевом очаге, включая движение селей.
3. Построение прогностических зависимостей.
4. Реализация прогностических зависимостей на ЭВМ в виде пакетов прикладных программ.
5. Математическое моделирование различных ситуаций о очаге с использованием постоянных прогностических зависимостей и качественная проверка результатов.
6. Испытание прикладных программ в реальном времени.
7. Внедрение разработанных программ в оперативную практику прогнозирования схода селей.

Подобная работа была выполнена для прогнозирования селей в бассейне реки Герхожан-Су в районе г. Тырнауза.

Оценка селевой опасности выполняется по следующей схеме. Сначала вычисляются величины

$$p_{t10} = \frac{2}{\pi} \arctg(0,000121 t_{10}^{3,765}), \quad (1)$$

где p_{t10} - величина, учитывающая влияние средней температуры воздуха за последние

10 дней на возможность схода селя, t_{10} - средняя температура воздуха за последние 10 дней, °С;

$$p_t = \begin{cases} p_{t10}, & \text{при } p_{t10} \leq \frac{2}{\pi} \arctg(3,2 \cdot 10^{-10} t^{3,7}) \\ \frac{2}{\pi} \arctg(3,2 \cdot 10^{-10} t^{3,7}) & \text{при } p_{t10} > \frac{2}{\pi} \arctg(3,2 \cdot 10^{-10} t^{3,7}) \end{cases} \quad (2)$$

где p_t - величина, учитывающая влияние суммы среднесуточных температур воздуха с момента перехода среднесуточной температурой через 0 °С на возможность схода селя, t

- сумма среднесуточных температур с момента перехода среднесуточной температурой через 0 °С, °С;

$$p_q = \begin{cases} 0, & \text{при } (t_{10} < 0^\circ\text{C} \text{ или } t_s < 0^\circ\text{C}) \text{ и } q < 52 \text{ мм} \\ \frac{2}{\pi} \arctg(0,000686 q^{2,46}) & \text{при } (t_{10} \geq 0^\circ\text{C} \text{ и } t_s \geq 0^\circ\text{C}) \text{ или } q \geq 52 \text{ мм}, \end{cases} \quad (3)$$

где p_q - величина, учитывающая влияние суммы жидких осадков за последние сутки на возможность схода селя, t_s - среднесуточная

температура воздуха, °С, q - сумма жидких осадков за последние сутки, мм;

$$p_i = \begin{cases} 0, & \text{при } (t_{10} < 0^\circ\text{C} \text{ или } t_s < 0^\circ\text{C}) \text{ и } q < 52 \text{ мм} \\ \frac{2}{\pi} \arctg(0,032i) & \text{при } (t_{10} \geq 0^\circ\text{C} \text{ и } t_s \geq 0^\circ\text{C}) \text{ или } q \geq 52 \text{ мм}, \end{cases} \quad (4)$$

где p_i - величина, учитывающая влияние средней интенсивности осадков за последние три часа на возможность схода селя, i - сред-

няя интенсивность жидких осадков за последние три часа, мм/час;

$$p_m = \begin{cases} 0, & \text{при } t_{10} < 0^\circ\text{C} \text{ или } t_s < 0^\circ\text{C} \\ \frac{2}{\pi} \arctg(0,00012 q_m^{1,9}) & \text{при } t_{10} < 0^\circ\text{C} \text{ или } t_s < 0^\circ\text{C}, \end{cases} \quad (5)$$

где p_m - величина, учитывающая влияние суммы осадков за предшествующий месяц на возможность схода селя, q_m - сумма жидких осадков за предшествующий месяц, мм; если p

$t < 0,11$ то значение p_m , полученное по формуле (5), уменьшается в 3,6 раза;

$$p_{bio} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \arctg(0,06d) & \text{при } p_q < 0,79, p_t < 0,79 \text{ и } p_m < 0,79 \\ \frac{2}{\pi} \arctg(0,85d) & \text{при } p_q \geq 0,79 \text{ или } p_t \geq 0,79 \text{ или } p_m \geq 0,79, \end{cases} \quad (6)$$

где p_{bio} - величина, учитывающая влияние наличия аномального поведения животных на возможность схода селя, d - степень выраженности биологических предвестников, которая определяется следующим образом: $d = 1$, если отмечено аномальное поведение отдельных особей (не более 5 каждого вида или любое число одного вида), $d = 2$, если имело место аномальное поведение 2-х или 3-х видов животных, причем необычным должно быть поведение не менее чем 6 особей каждого вида, $d = 3$, если зафиксировано аномальное поведение более чем 3-х видов животных, причем отклонения от нормы должны быть более чем у 5 особей каждого вида;

$$p_e = \begin{cases} 0 & \text{при } t_s < 2,7^\circ\text{C} \\ \frac{2q_e}{\pi} \arctg(0,000103 I^{5,3}) & \text{при } t_s \geq 2,7^\circ\text{C}, \end{cases} \quad (7)$$

где p_e - величина, учитывающая влияние землетрясения на возможность схода селя, q_e - вероятность возникновения землетрясения в следующие сутки, I - интенсивность землетрясения по шкале MSK - 64.

После этого определяются параметры

$$p_q^* = p_q^{1-0,22p_i-0,07p_e-0,04p_{bio}-0,16p_t-0,07p_{t10}-0,06p_m}, \quad (8)$$

где p_q^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по сумме жидких осадков за последние сутки с учётом значений p_i , p_e , p_m , p_{bio} , p_t , p_{t10} ;

$$p_i^* = p_i^{1-0,13p_t-0,05p_e-0,06p_{bio}-0,16p_q-0,04p_{t10}-0,07p_m}, \quad (9)$$

где p_i^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по средней интенсивности жидких осадков за последние 3 часа с учётом значений p_q , p_e , p_m , p_{bio} , p_t , p_{t10} ;

$$p_e^* = p_e^{1-0,07p_t-0,01p_i-0,19p_{bio}-0,02p_q-0,02p_{t10}-0,04p_m}, \quad (10)$$

где p_e^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по возможной сейсмической нагрузке с учётом значений p_q , p_i , p_m , p_{bio} , p_t , p_{t10} ;

$$p_t^* = p_t^{1-0,12p_q-0,15p_m-0,03p_{bio}-0,09p_i-0,04p_e-0,08p_{t10}}, \quad (11)$$

где p_t^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по сумме среднесуточных температур воздуха с момента перехода средне-

суточной температурой воздуха через 0°C с учётом значений p_q , p_e , p_m , p_{bio} , p_i , p_{t10} ;

$$p_{bio}^* = p_{bio}^{1-0,21p_e-0,07p_q-0,04p_m-0,03p_i-0,08p_t-0,02p_{t10}}, \quad (12)$$

где p_{bio}^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по наличию аномального поведения животных с учётом значений p_q , p_e , p_m , p_t , p_i , p_{t10} ;

$$p_m^* = p_m^{1-0,11p_q-0,1p_i-0,12p_e-0,04p_{bio}-0,07p_t-0,01p_{t10}}, \quad (13)$$

где p_m^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по сумме жидких осадков за месяц с учётом значений p_q , p_e , p_i , p_{bio} , p_t , p_{t10} .

$$p_{t10}^* = p_m^{1-0,1p_q-0,04p_i-0,02p_e-0,09p_{bio}-0,11p_t-0,03p_m}, \quad (14)$$

где p_{t10}^* - степень принадлежности ситуации к селеопасной по сумме жидких осадков за месяц с учётом значений p_q , p_e , p_i , p_{bio} , p_t , p_m .

Степень принадлежности ситуации к селеопасной рассчитывается по формуле

$$p_s = \left[0,79 + 0,21 \frac{2}{\pi} \arctg(1,22d + 0,9q) \right] \times [1 - (1 - p_{bio}^*) \cdot (1 - p_e^*) \cdot (1 - p_i^*) \cdot (1 - p_m^*)] \times (1 - p_q^*) \cdot (1 - p_t^*) \cdot (1 - p_{t10}^*), \quad (15)$$

где p_s - степень принадлежности ситуации к селеопасной.

Далее вычисляется код селевой опасности:

$$j = \begin{cases} 0 & \text{при } p_s < 0,17 \\ 1 & \text{при } 0,17 \leq p_s < 0,9 \\ 2 & \text{при } 0,6 \leq p_s < 0,6 \\ 3 & \text{при } 0,9 \leq p_s < 0,95 \\ 4 & \text{при } p_s \geq 0,95. \end{cases} \quad (16)$$

где j - код селевой опасности.

Если $j > 0$ и $d = 3$, то j увеличивается на единицу.

В Таблице 1 приведены прогнозы селей на следующие сутки в зависимости от j .

Расчёты иллюстрируются Таблице 2. Как видно из этой таблицы точность вычислений удовлетворительна. Ложные тревоги связаны с необходимостью обеспечения высокого уровня безопасности. Непредсказанных селей нет.

СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Таблица 1 - Прогнозы селей на последующие сутки в зависимости от j.

J	Прогноз на последующие сутки
0	Сход селей не ожидается
1	Ожидается сход селей малого объёма (до 10 тыс. м ³)
2	Ожидается сход селей среднего объёма (10 – 100 тыс. м ³)
3	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³)
4	Ожидается сход очень крупного селя (1 – 10 млн. м ³)
5	Ожидается сход гигантского селя (> 10 млн. м ³)

Таблица 2 - Результаты прогнозирования селей в июле 2000-го года

Дата	Прогноз	Сход селей
15.07	Ожидается сход селей среднего объёма (10 – 100 тыс. м ³)	Сход селей не наблюдался
16.07	Ожидается сход селей среднего объёма (10 – 100 тыс. м ³)	Сход селей не наблюдался
17.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³)	18.07 в 23:50 начался сход селевого потока объёмом несколько сотен тысяч кубометров [15].
18.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³)	19.07 в 13:00 начался сход селевого потока объёмом несколько сотен тысяч кубометров [15].
19.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³).	Сход селей не наблюдался.
20.07	Ожидается сход очень крупного селя (1 – 10 млн. м ³).	21.07 в 16:00 начался сход селевого потока объёмом несколько миллионов кубометров [13].
21.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³)	Сход селей не наблюдался.
22.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³).	Сход селей не наблюдался.
23.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³).	Сход селей не наблюдался.
24.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³).	24.07 в 23:30 начался сход селевого потока объёмом несколько сотен тысяч кубометров [12].
25.07	Ожидается сход крупного селя (100 тыс. – 1 млн. м ³).	26.07 в 00:30 начался сход селевого потока объёмом несколько сотен тысяч кубометров [8].
26.07	Ожидается сход селей среднего объёма (10 – 100 тыс. м ³)	Сход селей не наблюдался.
27.07	Ожидается сход селей среднего объёма (10 – 100 тыс. м ³)	Сход селей не наблюдался.

Заключение

Зная реальный уровень лавинной и селевой опасности, можно прогнозировать какую угрозу эти склоновые процессы представляют для конкретной дороги. Например, снеговоздушная волна лавины небольшого объема может быть неопасной для транспортных машин, даже если они попадут в зону её действия. В тоже время, пересечение шоссе селем малого объема небезопасно даже для тяжелой техники.

Таким образом, разработанные технологии позволяют с одной стороны обеспечивать приемлемый уровень безопасности, а с другой избегать неоправданных потерь, связанных с перебоями движения транспорта.

Библиографический список

1. Войтковский, К. Ф. Основы гляциологии / К. Ф. Войтковский.- М.: Наука, 1999.- 255 с.
2. Зимин, М. И. Прогнозирование лавинной опасности / М. И. Зимин.- Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2000.- 16 с.
3. Зимин М. И., Рубцов Е. А., Тимашев В. М., Бейтуганова Н.М., Зими́на С. А. Моделирование многофазных структурно-неоднородных тел./ Ка-

бардино-Балкарский ГУ.- Деп. в ВИНТИ, № 2468 – В2001.- 25 с.

4. Мокров Е. Г., Соловьёв А. Ю. Использование модели развития снежной толщи “SNOWPACK” для определения параметров лавинообразования.// Криосфера Земли.- 2010.- Т. XIV. - № 2.- С. 79 – 86.

5. Сейнова И. Б., Золотарёв Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья.- М.: Научный мир, 2001.- 204 с.

6. Устименко, А. А. Идентификация явления сингеризма в биологических динамических системах / А. А. Устименко // Сборник научных трудов СурГУ. Физико-математические и технические науки. – 2009. – № 32. – С. 36 – 44.

PREDICTION OF TRAFFIC FACILITIES IN MOUNTAINOUS AREAS BASED ON BIONIC APPROACH

M. Zimin, S. Zimina

Problems of forecast interconnected processes on transport structures are considered. Two-leveled system, being used to predict avalanche and sill load is described.

Зимин Михаил Иванович – к.т.н., инженер. Канада, г. Торонто.

Зими́на С. А.

УДК 691.327.33

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КВАРЦА

А. Ф. Косач, И. Н. Кузнецова, С. В. Данилов, Н. А. Гутарева

Аннотация. В статье представлена усовершенствованная технология производства ячеистых бетонов, содержащих модифицированные высокодисперсные частицы, полученные путем измельчения частиц дисперсной фазы на стадии перемешивания с использованием отходов кварца.

Ключевые слова: ячеистый бетон, технология ячеистого бетона.

Введение

Интенсивным развитием современной технологии гидратационных цементных материалов и изделий является использование различных научно-обоснованных методов регулирования, дающих возможность целенаправленно изменять процесс твердения.

Частицы твердой фазы материалов являются элементарными наночастицами-наноинициаторами, из которых формируются различные структуры, прочность которых предопределяется, дисперсностью и гранулометрическим составом частиц.

В структуре приготовленных исходных дисперсных систем формовочные массы и смеси, различные суспензии и т.д., необходимо различать две составные части:

- структурный каркас, образованный грубодисперсными частицами, и межзерновая пустотность, состоящая из тонкодисперсных частиц

- продуктов гидратации, расположенных в межзерновом пространстве грубодисперсного каркаса.

Решающую роль имеет регулирование свойств структуры на ранних стадиях её зарождения в коагуляционный период

Основная часть

Природа сил взаимодействия между структурными элементами, способствующими превращению гидрогеля в камневидное тело, занимает важное место в твердения цементного геля.

Процесс твердения может происходить вследствие проявления водородных связей, ван-дер-ваальсового взаимодействия или ионного притяжения при наличии неуравновешенных электрических зарядов. Исследователи предполагают, что сила водородной связи достаточно велика для придания цементному камню высокой прочности.

Данные силы структурной связи могут проявляться в том случае, если частички сближены до расстояний, на которых между ними возникают короткодействующие ненасыщенные поверхностные валентные силы [1].

В своих исследованиях Балоян Б. М., Колмаков А. Г. и др. отметили, что гидраты представлены в виде мельчайших частиц – субмикроструктур – с размерами меньше 10^2 нм; они создают в прослойках между гидратированными зернами цемента коллоидную систему – тоберморитовый гель.

Между частицами возникают коагуляционные контакты, что и приводит к образованию коагуляционной структуры. Особенностью этих контактов является обязательное наличие между частицами тонкой устойчивой прослойки воды (дисперсионной среды).

В результате физических контактов коагуляционной структуры цементного геля происходит облегченность миграции атомов, наблюдаются более выраженные силы притяжения между атомами, что приводит к склонности самоорганизации кластерных структур.

В данной статье рассматривается разработанная на базе экспериментальных и теоретических положений усовершенствованная технология производства ячеистых бетонов путем измельчения частиц дисперсной фазы на стадии перемешивания с использованием отходов кварца.

Проектом ОАО «Полярный кварц» предусмотрен в ХМАО-Югре комплекс, включающего в себя горную часть для разработки месторождений кварца и промышленного комплекса по производству особо чистого кварцевого концентрата.

Минерально-сырьевой потенциал кварцевого сырья Севера Урала представлена Институтом экономики УрО РАН и составляет 1219,8 тыс.т., условные запасы 823,9 тыс.т. Кварцевые отходы являются побочным продуктом технологического процесса.

В промышленности разрабатываются и производятся различные типы помольных установок для получения высокодисперсных материалов.

В данной работе для получения высокодисперсных частиц на основе кварцевых отходов использовали центробежную дисковую установку, которая по степени дисперсности при сухом помоле позволяет нам получать ультрадисперсные материалы – 10^2 - 10^3 нм, а при мокром – наноматериалы размером частиц менее 10^2 нм.

Центробежная дисковая установка состоит из цилиндрического корпуса 1 в котором установлен вал 4 с лопастями 5, вал закреплен в корпусе с помощью подшипников 3, закрытых внешними втулками для предотвращения оттока обрабатываемого продукта. Вал 2 соединяется с помощью клиноременной передачи со штоком электродвигателя соответствующей мощности (рис. 1.).

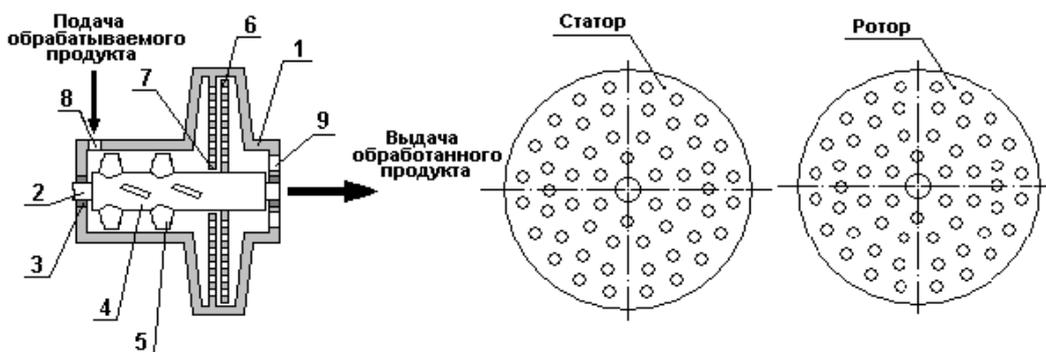


Рис. 1. Схема центробежной дисковой установки

Два элемента – решетчатые статор и ротор являются основными рабочими органами помольной установки, которые при мокром помоле обеспечивают возникновение кавитационного эффекта в жидкой среде, за счёт образованных микроскопических пузырьков воздуха, которые, перемещаясь с большой скоростью, схлопываются за пределами поверхности статора, образуя ультразвуковые акустические колебания, которые окончатель-

но диспергируют обрабатываемый материал.

В лаборатории новых технологий и автоматизации промышленности строительных материалов «ИНТА-строй» (г. Омск) были проведены исследования по оптимизации активированного состава песчано-кварцевой смеси (песок-кварц) и его количественного содержания от массы цемента в цементно-песчано-кварцевом бетоне, согласно структурной схеме исследования (рис. 2.).

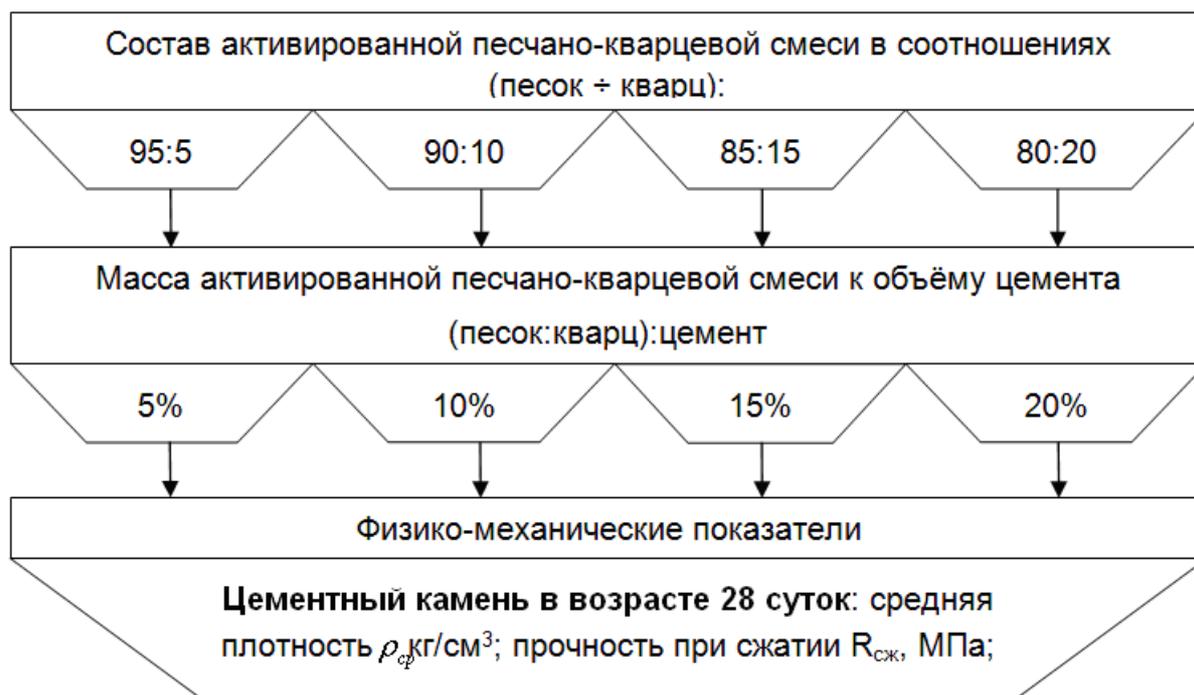


Рис. 2. Структурная схема исследования цементно-песчано-кварцевой смеси

На основании данной схемы исследования разработана технологическая схема приготовления растворной смеси для производства ячеистого бетона с использованием отходов от обработки кварцевого сырья и производства чистого кварца (рис. 3.).

В эксперименте использовались следующие материалы:

1. Вяжущее – портландцемент ПЦ400 Д20 завода г. Искитим.

2. Песок – с Сурей-Юганского месторождения ХМАО со следующими характеристиками: $M_k = 1,79$;

истинная плотность – 2620 кг/см³;

средняя плотность - 2570 кг/см³;

насыпная плотность – 1570 кг/см³.

3. Вода водопроводная.

4. Отходы от обработки кварцевого сырья и

производства чистого кварцевого концентрата.

Для определения физико-механических характеристик использовались образцы размером 4x4x16 см, приготовленные из цементно-песчано-кварцевой смеси нормальной консистенции (110-115 см) и возрасте 28 суток нормального твердения.

Физико-механические показатели определялись при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности 70-80 % согласно требованиям ГОСТа. Прочностные характеристики цементно-песчано-кварцевой смеси бетона определялись на установке МИИ-100 и прессе МС-100. [3]. Полученные результаты представлены в таблице 1 и 2.

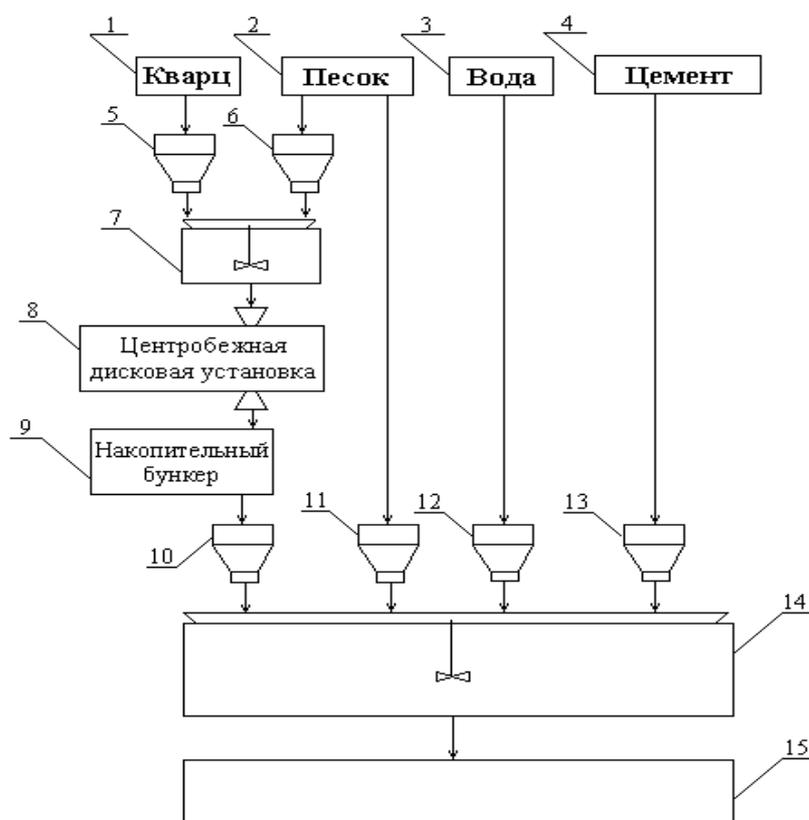


Рис. 3. Технологическая схема производства ячеистых бетонов с использованием отходов кварца: 1– накопительный бункер для отходов кварца; 2– накопительный бункер для песка; 3– емкость для воды; 4–накопительный бункер для цемента; 5–дозатор отходов кварца; 6, 11–дозатор песка; 7–смеситель для перемешивания отходов кварца и песка; 8–мельница непрерывного действия роторного типа (центробежная дисковая установка); 9–накопительный бункер активированной песчано-кварцевой смеси; 10–дозатор активированной песчано-кварцевой смеси; 12–дозатор воды; 13–дозатор цемента; 14– смеситель СБ-138 принудительного действия (с вертикальным ротором); 15–форма для заливки готовой смеси

Таблица 1 – Физико-механические показатели образцов после активации с разным соотношением песка к кварцу

Показатель	Проектная прочность (песок:цемент), МПа	№ образца	После активации, прочность, МПа							
			Соотношение песка к кварцу							
			95:5		90:10		85:15		80:20	
		R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	
Прочность, МПа	38,9	1	42	45,2	41	50,5	47	52,1	46	53,7
				45,8				50,9		
		2	40	46,1	43	48,7	43	54,5	49	54,9
				46,3				49,3		
3	44	44	44,9	45	49,2	45	53,7	47	54,8	
					45,1				49,5	
R _{ср}		42	45,6	43	49,7	45	53,5	47,3	54,5	
Средняя плотность, кг/м ³	2345		2387		2410		2420		2427	

СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Таблица 2 – Физико-механические показатели образцов с разным количеством активированной песчано-кварцевой смеси к массе цемента

Показатель	Проектная прочность ((песок:кварц):цемент) (85:15), МПа	№ образцы	Количество активированной песчано-кварцевой смеси к массе цемента, прочность, МПа								
			5%		10%		15%		20%		
			R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	
Прочность, МПа	54,5	1	47	54,3	46	54,0	47	53,2	46	49,4	
				54,7				54,2			53,9
		2	48	55,1	48	53,9	46	52,8	45	50,8	
				54,7				54,7			53,1
		3	45	55,3	47	53,8	48	53,6	45	49,9	
				55,8		54,1		53,9		50,5	
		R _{ср}	46,7	55,0	47	54,1	47	53,4	45,3	50,2	
		Средняя плотность, кг/м ³	2420		2377		2347		2330		2323

Заключение

На основании вышеизложенного и полученных результатов была выдвинута гипотеза и сделаны выводы:

гипотеза

– процесс гидратации твердения цемента сопровождается образованием гидратных новообразований в виде мельчайших частиц с размерами меньше 10² нм, имеющих важное значение при формировании оптимальных структур с введением нанодисперсных составляющих, имеющих активную поверхность кварца;

выводы

– принимаем оптимальное содержание активированной песчано-кварцевой смеси к кварцу 85:15 %, т.к. дальнейшее уменьшение соотношения песка к кварцу является нецелесообразным, вследствие того, что снижает прочностные показатели цементно-песчано-кварцевой смеси (более чем на 10 %);

– принимаем количественное содержание активированной песчано-кварцевой смеси к растворной части составляет 15 % от массы цемента;

– использование цементно-песчано-кварцевого бетона на активированных компонентах смеси позволяет экономить цемент от 15 до 20 % без снижения прочностных характеристик ячеистых бетонов и улучшать теплофизические свойства до 10 %.

Библиографический список

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / Учебник для вузов – М.: Стройиздат, 1981 – 464 с. ил.
2. Гусев Б. В., Кондращенко В. И., Маслов Б. П., Файвусович А. С. Формирование структуры компози-

ционных материалов и их свойства. - М.: Научный мир, 2006. –560 с.

3. Кузнецова И. Н., Кузнецов О.А., Косач А. Ф., Ращупкина М. А Влияние минерального состава и пористой структуры межпоровых перегородок на теплопроводность пенобетона // Известия вузов. Строительство. – 2010. – №.6 – 137с.

4. Сидоров В. И., Агасян Э. П., Никифорова Т. П. и др. Химия в строительстве / Учебник для вузов: - М.: АСВ, 2007 – 312с.

TECHNOLOGY AND MANUFACTURES CELLULARCONCRETE ON THE BASIS OF WASTE OF QUARTZ

A. F. Kosach, I. N. Kuznetsova,
S. V. Danilov, N. A. Gutareva

In clause it is presented advanced technology cellularconcrete modified highly disperse the particles received by crushing of particles of a disperse phase at a stage of hashing with use of waste of quartz is presented.

Косач Анатолий Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции Югорского государственного университета (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск. A_Kosach@ugrasu.ru

Кузнецова Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» СибАДИ.

Данилов Сергей Валерьевич – аспирант Югорского государственного университета (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск.

Гутарева Наталья Анатольевна – старший преподаватель, каф. Строительства Югорского государственного университета (ЮГУ), г. Ханты-Мансийск.

УДК 625.731.1

НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЛИКВИДАЦИИ ПУЧИНООБРАЗОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА УПРАВЛЯЕМЫМ ЗАЩЕЛАЧИВАНИЕМ

А. Б. Самойленко, В. Н. Шестаков

Аннотация. Изложено лабораторное и стендовое экспериментальное обоснование нанотехнологии ликвидации пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна. В основу технологии положена химическая обработка таких грунтов управляемым защелачиванием. Способ ликвидации защищен патентом РФ.

Ключевые слова: пучинообразование глинистых грунтов, технология ликвидации, водный раствор гидроксида натрия, технологические параметры, долговечность.

Введение

Одной из причин повреждения эксплуатируемых дорожных конструкций является процесс пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна. На территории юга Западной Сибири пучинообразованию подвержены 4-5 % протяженности дорожных конструкций. Применение известных конструктивных и химических способов борьбы с пучинообразованием грунтов земляного полотна зачастую малоэффективно в глинистых грунтах с влажностью выше оптимальной и требует на время производства работ полного или частичного закрытия движения автотранспорта [1,2].

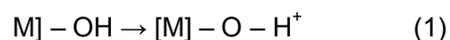
Исследования З. А. Нерсесовой и Ю. М. Васильева, показали, что насыщение грунта одновалентными катионами снижает морозоопасность грунта. На основании этих данных, а также исследований, проведенных МГУ и БашНИИСтроем [3] по обработке глинистых грунтов гидроксидом натрия, исследована нано технология снижения пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна способом управляемого защелачивания.

Теоретические предпосылки

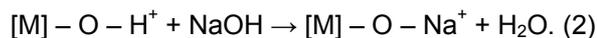
Управляемое защелачивание глинистых грунтов заключается в нагнетании в них при помощи инъекторов водного раствора гидроксида натрия с добавкой негашеной извести с последующим выдерживанием в течение 30 суток при положительной температуре. Сущность управления заключается в инъектировании в земляное полотно рабочего раствора требуемой концентрации и объема, подобранных на основе лабораторных испытаний пучинистого грунта. Целью управления является обеспечение грунту земляного полотна под дорожной одеждой требуемой степени пучинистости (непучинистой или слабопучинистой).

Основу глинистых грунтов составляют глинистые минералы, представленные каолинитом, монтмориллонитом и гидрослюдой. Соотношение этих минералов определяет

степень его морозоопасности. Согласно физико-химической теории взаимодействия глинистых минералов [М] со щелочью у последних в щелочной среде происходит дополнительная диссоциация поверхностных структурных гидроокислов (по сравнению с нейтральной средой) по типу

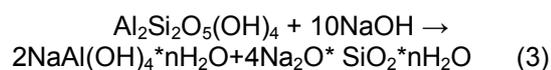


с последующим обменом H^+ на Na^+ из раствора щелочи и образованием воды:

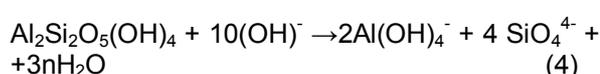


Процессы диссоциации поверхностных OH^- групп и обмена H^+ на Na^+ растут с увеличением концентрации раствора щелочи. При низких концентрациях раствора (<1н) происходит химическое пучение грунта. Нормальность раствора – концентрация раствора, выраженная числом грамм-эквивалентов растворенного вещества, содержащегося в 1 литре раствора.

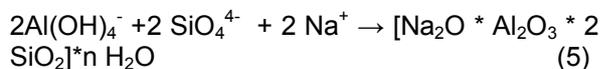
Снижение пучинистости глинистых грунтов при обработке их щелочными растворами высоких концентрации (>1н) связано с возникновением новых вяжущих веществ на контактах частиц грунта, образованных из продуктов разрушения алюмосиликатного ядра глинистых, некоторых первичных и типоморфных минералов. Так, внедрение OH^- иона щелочи в координационную сферу атомов Al и Si алюмосиликатов приводит к разрушению связей $Si - O - Al$, а затем и $Si - O - Si$ с выходом из решетки в раствор оксидов кремния и алюминия (на примере каолинита):



Или



с последующим формированием по конденсационному механизму новой твердой фазы гидроалюмосиликатов натрия содалитоподобного типа:



Наиболее сильно подвержен воздействию щелочного раствора NaOH каолинит, менее – монтмориллонит и гидрослюда. Воздействие гидроксида натрия на гидрослюда, в отличие от каолинита и монтмориллонита, не приводит к существенному изменению структуры минерала.

На основе исследований МГУ [] рассмотрена геозкологическая безопасность обработки глинистого грунта щелочными растворами. Условия миграции растворов существенно зависят от проницаемости грунтов и физико-химических процессов их взаимодействия с гидроксидом натрия. Глинистые грунты ограничивают миграцию растворов вследствие малой их проницаемости и значительной сорбционной способности. Поэтому инъецирование в глинистые грунты земляного полотна щелочных растворов NaOH не представляет какой-либо опасности загрязнения окружающей среды, т.к. в них преобладает диффузионный, а не фильтрационный механизм продвижения щелочного раствора. Сам глинистый грунт играет роль естественного геохимического барьера.

Лабораторные исследования[4]

Использовались легкий и тяжелый пылеватые суглинки, которые, в соответствии с ГОСТ 28622-90, относятся к сильнопучинистым грунтам. Относительная деформация морозного пучения ε_{fn} этих суглинков, в зависимости от их коэффициентов уплотнения $0,90 \leq K_y \leq 1,00$, изменяется следующим образом: легкий, $I_p=0,08 - \varepsilon_{fn1}=90,1+82,7K_y^2-164,6K_y$; тяжелый, $I_p=0,16 - \varepsilon_{fn2}=106,3+101,3K_y^2-201,1K_y$.

Рассмотрено влияние на пучинистость и механические свойства грунтов концентрации раствора гидроксида натрия (x_1) дозировки негашеной извести (x_2) и коэффициента уплотнения грунта (x_3). Для этого поставлены полные факторные эксперименты ортогонального планирования второго порядка.

На основе экспериментов получены в условных переменных адекватные уравнения, характеризующие изменение относительной деформации морозного пучения ε_{fn} , %: для легкого пылеватого суглинка при коэффициенте уплотнения $0,90 \leq x_3 \leq 1,00$

$$\varepsilon_{fn} = 2,966 - 0,471x_1 - 0,437x_2 - 0,298x_3 - 0,206x_1^2 - 0,13x_2^2 - 0,42x_3^2 - 0,113x_1x_3 - 0,163x_1x_2x_3 \quad (6)$$

для тяжелого пылеватого суглинка при коэффициенте уплотнения 0,95

$$\varepsilon_{fn} = 2,41 - 0,267x_1 - 0,117x_2 \quad (7)$$

Область изменения параметров в (6) и (7): $2,50 \leq x_1 \leq 7,50$ $0,00 \leq x_2 \leq 1,0$.

Из полученных зависимостей следует, что обработка легкого пылеватого суглинка раствором NaOH 3-4 н концентрации с добавкой извести 0,2-0,3 % от объема раствора, а тяжелого пылеватого суглинка с коэффициентом уплотнения 0,95 раствором NaOH 3 н концентрации с добавкой извести 0,1 % от объема раствора, позволяет снизить их относительную деформацию морозного пучения в три раза.

В результате обработки исследуемых грунтов растворами оговоренных составов степень их морозного пучения снижается от сильнопучинистого ($7\% \leq \varepsilon_{fn} < 10\%$) до слабопучинистого ($1\% \leq \varepsilon_{fn} < 4\%$). Это позволяет в соответствии со СНиП 2.05.02-85, применять их в рабочем слое земляного полотна.

Для оценки долговечности достигнутого эффекта снижения степени пучинистости грунта, обработанного щелочным раствором, проведено исследование изменения его относительной деформации морозного пучения ε_{fn} от количества циклов промораживания-оттаивания N . Эксперимент выполнен на тяжелом пылеватом суглинке, уплотненном до 0,95 и обработанном 5н раствором NaOH с добавкой извести 0,5 % от объема раствора. Промораживание образцов проводилось по ГОСТ 28622-90, оттаивание при температуре воздуха 20°C . Количество циклов промораживания-оттаивания согласовано со сроком службы дорожной одежды и составило 20.

Согласно полученной зависимости

$$\varepsilon_{fn} = 2,4 + 0,015N \quad (8)$$

относительная деформация морозного пучения ε_{fn} зашелоченного грунта после 20 циклов промораживания-оттаивания, оставаясь слабопучинистым увеличилась только на 12,5 %.

Наряду с понижением степени пучинистости грунта после защелачивания происходит повышение его механических характеристик. Образцы тяжелого пылеватого суглинка с $K_y=0,95$ обрабатывались растворами гидроксида натрия 2,5 – 7,5 н концентрацией с добавкой извести 1 % от объема раствора. По итогам испытаний по ГОСТ 12248-96 получе-

ны зависимости механических характеристик от концентрации раствора, n : прочности при одноосном сжатии R , МПа: $R=0,13-0,02n^2+0,06n$; модуля упругости E , МПа: $E=12,5+0,3n^2+2,6n$; угла внутреннего трения φ , град: $\varphi=23,0+0,08n^2-0,2n$; удельного сцепления C , МПа: $C=0,0293+0,0004n^2-0,0002n$.

Из этих зависимостей следует, что прочностные и деформационные показатели грунта после защелачивания увеличились: прочность при одноосном сжатии в 3-6 раз; модуль упругости в 3,5-8 раз; сцепление в 1,5-2 раза; угол внутреннего трения с 22 до 26, что согласуется с данными приведенными в [3].

Стендовое моделирование технологии[5]

Насыпь высотой 0,7 м возведена из тяжелого пылеватого суглинка со щебеночным покрытием 0,1 м. Защелачивание грунта толщиной 0,50 м выполнено раствором едкого натра 2,5 н концентрации с добавкой 1 % извести от объема раствора.

Работы осуществлялись в такой последовательности:

1. Погружение инъекторов при помощи пневмоударной машины ПУМ-65. Инъекторы погружали в насыпь горизонтально на расстоянии $r=0,25$ м от низа щебеночного покрытия.

2. Нагнетание щелочного раствора в грунт при помощи плунжерного насоса (НД-1000/10). Разводящая сеть состоит из резиновых шлангов с тканевыми прокладками с внутренним диаметром 12-19 мм. Предельное давление нагнетания раствора не превышало 0,2 МПа, а интенсивность нагнетания через инъектор с перфорированной инъекционной частью 1 м составляло от 2 до 3 л/мин.

3. Извлечение инъекторов осуществлялось при помощи пневмоударной машины ПУМ-65.

Согласно расчету дорожной конструкции опытного стенда на морозоустойчивость по методике ОДН 218.046.01 установлено, что деформация пучения дорожной конструкции из исходного грунта составит 133 мм, а после его обработки – 32 мм.

В течение зимы 2010-2011 г. проводилось наблюдение за деформациями морозного пучения покрытия стенда, путем нивелирования поверхности по пучинным маркам.

Максимальная высота пучения по маркам пучения 1-3 составила 112 мм (прогнозируемая 133 мм); по маркам пучения 4-6 – 28 мм (прогнозируемая 32 мм). Из данных следует, что деформация пучения грунта, обработанного раствором щелочи 2,5н концентрации с добавкой извести 1 % от объема рабочего раствора, в 4 раза меньше, чем пучение исходного грунта. Отклонение величины измеренного пучения покрытия опытного стенда от прогнозируемого составило 14-19 %.

По результатам испытания образцов исходного и обработанного грунтов (табл.), установлено, что прочность при одноосном сжатии R возросла в 3,5 раза; модуль упругости E в 3,6 раза; сцепление C в 1,3 раза; угол внутреннего трения φ повысился с 22 до 23; относительная деформация морозного пучения ε_{fn} снизилась в 3,4 раза. Полученные данные согласуются с результатами лабораторных исследований.

Таблица - Показатели характеристики тяжелого пылеватого суглинка

Грунт	Плотность сухого грунта, г/см ³	Прочность при одноосном сжатии R , МПа	Модуль упругости E , МПа	Угол внутреннего трения φ , град.	Удельное сцепление C , МПа	ε_{fn} , %
Исходный	1,65	0,08	20,4	22	0,025	6,8
Обработанный	1,65	0,28	72,8	23	0,033	2,0

Обоснование технологических параметров выполнено на основе стендового моделирования процесса защелачивания глинистого грунта (рис.1.) и рекомендаций [6,7]:

- Требуемая толщина слоя обработки глинистого грунта земляного полотна $h_{ср}=2r$ назначается согласно п. 6.14 СНиП 2.05.02-85 и расчету дорожной конструкции на морозоустойчивость согласно п. 4 ОДН 218.046-01;

- Радиус обработки грунта r назначается равным половине требуемой толщины слоя обработки $h_{ср}$, с округлением в большую сторону с кратностью 5 см.;

- Расстояние между инъекторами $l_p=1,73r$;

- Давление нагнетания раствора щелочи не более 0,2 МПа, которое позволяет сохранить сплошность грунта;

- Объем грунта, обрабатываемый за заходку, составляет

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot (l + 4/3 \cdot r); \quad (9)$$

- Расчетный объем грунта, за эту заходку

$$V_p = \pi \cdot r^2 \cdot l_3 = \pi \cdot r^2 \cdot (l + r), \quad (10)$$

где l - длина перфорированной части иньектора;

Количество раствора щелочи рабочей концентрации Q_p , м³, необходимое для обработки грунта за одну заходку, определяется по формуле

$$Q_p = \pi \cdot r^2 \cdot (r + l) n \cdot a,$$

где n – пористость грунта в долях единицы; a – коэффициент насыщения грунта раствором щелочи, принимаемый 0,7.

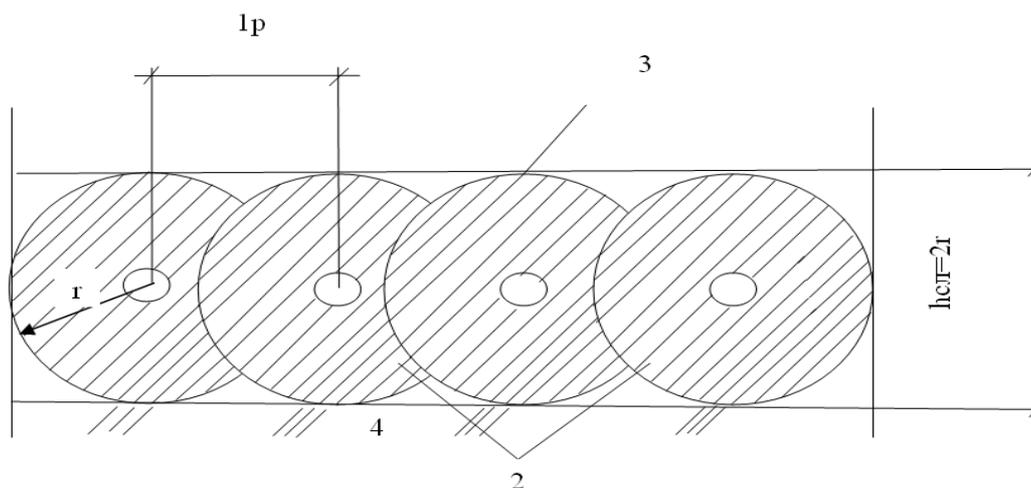


Рис. 1. К обоснованию технологических параметров слоя обработки толщиной $h_{ссп}$:
1 – иньектор; 2 – зона обработки радиусом; 3- подошва дорожной одежды;
4- земляное полотно из глинистого грунта

Обоснование коэффициента a состоит в следующем. Исходя из реальных значений параметров: $q=2$ л/мин, или 3 м³/сут; $P=0,07$ МПа, $r_0=0,02$ м, $l=1$ м, $r=0,6$ м, величина K_f для суглинка составит 0,17 м/сут. Объем породы V_e , вместивший закачиваемую щелочь, составляет 2,04 м³. Поскольку на закрепление массива при одной заходке пошло 600 л раствора щелочи, то исходя из полученного объема защелачиваемого массива V_e и реального заполнения объема активных пор грунта щелочью $V_{щ}$, получим значение активной пористости n_a грунта при фильтрации через него раствора $n_a = V_{щ} \cdot V_e^{-1} = 0,29$, при общей пористости грунта $n=0,44$. Следовательно, при фильтрации раствора щелочи через водонасыщенный грунт вода, заключенная в объеме пор, составляющих активную пористость (до 66 % от общей пористости), замещается фильтруемым раствором, оставшая же часть пор (34 %) осталась заполненной (как и до закачки щелочи) водой. Дальнейшее взаимодействие раствора с породой будет происходить медленно с постепенным выравниванием концентрации в поровом пространстве

главным образом за счет диффузионных процессов.

Производительность нагнетания
 $\Pi = q \cdot k / (n \cdot a),$

где q – интенсивность нагнетания раствора, $q=2-3$ л/мин;

k – количество иньекторов.

Методические рекомендации [8]

Технология управляемого защелачивания применима в глинистых грунтах земляного полотна и его основания с числом пластичности 3-25; пористостью не ниже 35 %;

Применение технологии возможно при температуре обрабатываемого грунта не ниже 0 °С и температуре раствора не ниже 10 °С (предпочтительно 50-60 °С).

Ориентировочный расход кристаллического порошка гидроксида натрия на обработку суглинистого грунта составляет при концентрации раствора 2,5 н – 27 кг/м³; 5,0 н – 54 кг/м³.

Состав рабочего раствора подбирается из условия обеспечения требуемой степени пучинистости (непучинистый или слабопучинистый) глинистого грунта при минимальной стоимости.

Работы по снижению пучинообразования дорожных конструкций управляемым защелачиванием глинистых грунтов земляного полотна должны проводиться комплексной бригадой в составе двух звеньев:

- 1-е звено производит горизонтальное внедрение и извлечение иньекторов (машинист компрессорщик – 1 чел., слесарь 5-го разряда – 2 чел.);

- 2-е звено выполняет приготовление и нагнетание рабочего раствора в грунт (оператор 6-го разряда – 1 чел., слесарь 5-го разряда – 1 чел.).

Нагнетание раствора щелочи в грунт производится заходками. Расчетная длина одной заходки l_3 равна длине перфорированной части иньектора l плюс радиус распространения раствора r (рис. 2.).

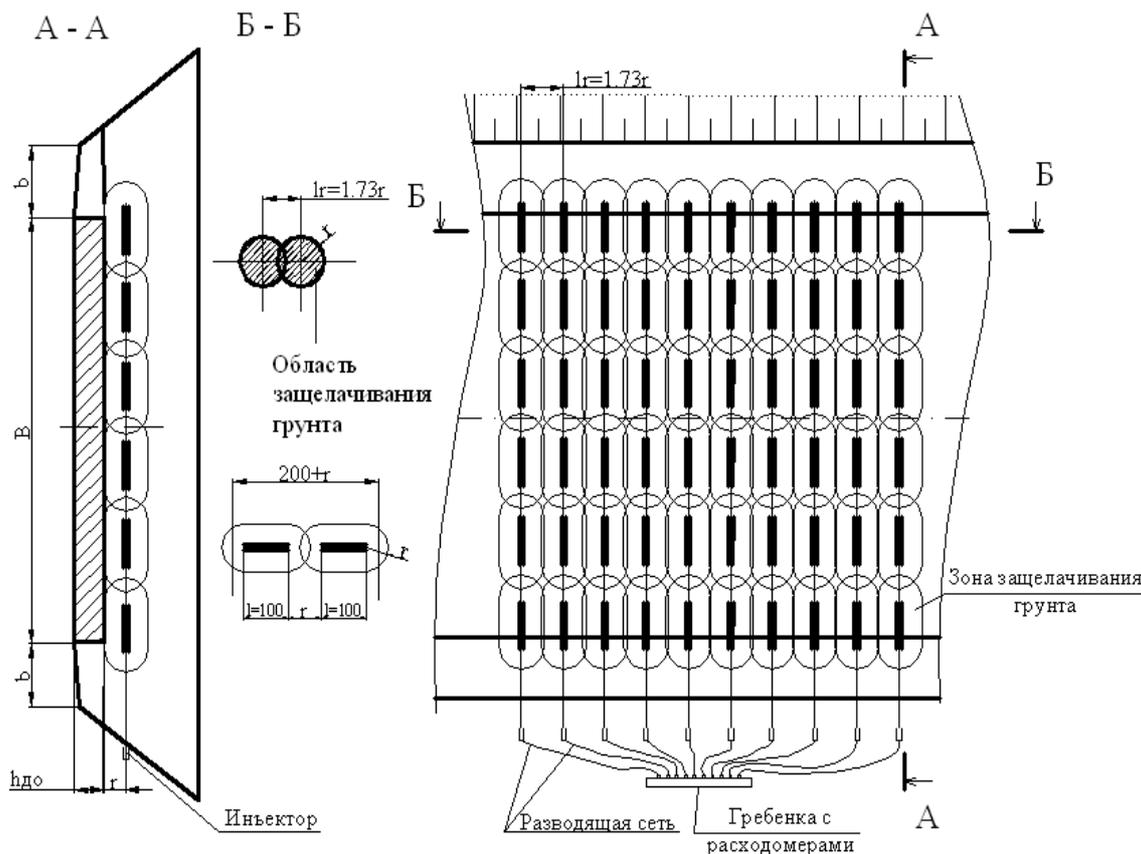


Рис. 2. Схема размещения иньекторов и зон защелачивания грунта в земляном полотне

Технико-экономическая эффективность инвестиций при ликвидации пучинообразования на участке автомобильной дороги «Кочки-Каргат» в Новосибирской области определена на основе сопоставления выгод, возникающих у пользователей автомобильной дороги, с инвестиционными затратами, связанными с реализацией рассматриваемого проектного решения. При этом рассмотрены конкурентоспособные варианты ликвидации пучинообразования:

- 1 – замена пучинистого грунта в теле земляного полотна с переустройством дорожной одежды и строительством временной объездной дороги на период производства работ;

- 2 – обработка глинистого грунта управляемым защелачиванием без закрытия движения транспорта.

Оба варианта дорожных конструкций являются равнопрочными.

Оценка эффективности инвестиционного проекта осуществлена в пределах расчетного периода, продолжительность которого (горизонт расчета) принята 7 лет. Экономия на капитальных вложениях по предлагаемому варианту 2 составила 0,65 млн.руб, или 25 %.

Заключение

1. Сущность снижения пучинистости глинистых грунтов водными растворами гидроксида натрия ($>1n$) с добавкой негашеной извести заключается в возникновении новых вяжущих веществ на контактах частиц грунта, образованных из продуктов разрушения кристаллической решетки и алюмосиликатного ядра глинистых минералов. При этом было впервые экспериментально установлен эф-

фект снижения степени пучинистости глинистых грунтов (до непучинистого или слабопучинистого) при их обработке водными растворами гидроксида натрия (3-4 н концентрации, 32-43 кг/м³ грунта) с добавкой негашеной извести (0,1-0,3 % от объема раствора). Наряду со снижением степени пучинистости обработанных глинистых грунтов, происходит увеличение их прочностных и деформационных показателей.

2. Долговечность эффекта снижения степени пучинистости грунта обработкой его растворами гидроксида натрия с добавкой извести после 20 циклов промораживания-оттаивания практически не изменяется (относительная деформация морозного пучения увеличилась на 12,5 %).

3. Разработанная технология, защищенная патентом Российской Федерации [9], позволяет на основе методических рекомендаций [8] эффективно ликвидировать пучинообразование глинистых грунтов земляного полотна.

Библиографический список

1. Типовые решения по восстановлению несущей способности земляного полотна и обеспечению прочности и морозостойкости дорожной одежды на пучинистых участках автомобильных дорог. - М., 2007. - 101с
2. Методические рекомендации по борьбе с пучинами инъекций закрепляющих растворов. Минск, Белдорнии, 1973-35с
3. Грунтоведение. Кол. авторов под редакцией В. Т. Трофимова- 6-е изд. переработ. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 1024с (Классический университетский учебник)
4. Самойленко А. Б. Влияние раствора гидроксида натрия на морозное пучение глинистого грунта / А. Б. Самойленко, В. Н. Шестаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Строительство и архитектура». – 2010. – №33(209). – С.29-32.
5. Шестаков В. Н. Способ борьбы с пучинами / В. Н. Шестаков, А. Б. Самойленко // Автомобильные дороги. – 2011. – №09(958). – С.146-149.

6. Основания, фундаменты и подземные сооружения (М. И. Горбунов-Посадов и др.; под общ. ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова - М.: Стройиздат, 1985. - 480с. - (Справочник проектировщика).

7. Рекомендации по укреплению глинистых грунтов оснований зданий и сооружений защелачиванием. Уфа.: БашНИИстрой, 2005. - 36с

8. Пат. 2407859: МПК E02B 3/12, C17/00. Способ ликвидации пучинообразования дорожной конструкции управляемым защелачиванием грунта / В. Н. Шестаков, В. М. Глушков, А. Б. Самойленко; ГОУ ВПО «СибАДИ». - №2009121985, заявл. 08.06.2009 г., опубл. 27.12.2010 г., Бюл. №36. – 6 с.

9. Методические рекомендации по ликвидации пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна способом управляемого защелачивания / Разработчик А. Б. Самойленко, научный руководитель д.т.н., профессор В. Н. Шестаков. – Омск, СибАДИ, 2011. – 29 с.

THE NANO-TECHNOLOGY OF THE CLAY SOILS FROST HEAVY LIQUIDATION OF THE SOIL BED MEANS OF THE CONTROLLING ALKALIZATION

A. B. Samoilenko, V. N. Shestakov

The laboratory and stand experimental basis of the nano- technology of the soil bed are account. In the base of the technology is supposed the chemical processing such soils by means of the controlling alkalization. The liquidation method is defenced by the patent of the RF.

Самойленко Алексей Борисович - канд. техн. наук, главный специалист проектного института "Омскжелдорпроект". Имеет 12 научных публикаций. e- mail: kaf_igof@sibadi.org

Шестаков Владимир Николаевич - д-р техн. наук, проф., профессор кафедры "Инженерная геология, основания и фундаменты" Сибирской государственной автомобильно- дорожной академии. Основное направление научных исследований - прогнозирование теплофизического режима в жизненном цикле дорожных конструкций, их надежность. Имеет более 250 публикаций научных работ. e- mail: shestakovomsk@rambler.ru

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ МЕСТНОЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ

З. Н. Соколовский, Е. Г. Холкин

Аннотация. В статье описывается инженерная методика проверочного расчета несущей способности конструкций из тонкостенного профиля с учетом местной потери устойчивости. Методика строится на базе аналитических, численных и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тонкостенный трапециевидный профиль, несущая способность, местная потеря устойчивости, допустимые напряжения.

Введение

Создание легких, прочных и надежных конструкций является актуальной задачей. Одно из основных требований в машиностроении и строительстве – снижение металлоёмкости. Это приводит к тому, что элементы конструкций должны рассчитываться по более точным определяющим соотношениям, учитывающим опасность как общей, так и местной потери устойчивости.

Один из путей решения задачи минимизации веса – применение высокотехнологичных тонкостенных трапециевидных прокатных профилей. Профили изготавливаются путем прокатки тонколистовой стали толщиной 0,4...1,5 мм в стационарных условиях или непосредственно на монтажной площадке в виде плоских или арочных элементов. Конструкции с применением несущих арочных покрытий из тонкостенного трапециевидного профиля отличаются легкостью, эстетичным видом, простотой монтажа и рядом других преимуществ по сравнению с традиционными видами покрытий.

Основной вид нагружения профиля – продольно-поперечный изгиб. Тонкие пластинчатые элементы профиля, испытывающие сжатие в срединной плоскости, могут терять местную устойчивость. Местная потеря устойчивости наблюдается на ограниченных участках по длине профиля при значительно меньших нагрузках, чем общая потеря устойчивости и напряжения, соизмеримых с допускаемыми. При местной потере устойчивости отдельный сжатый пластинчатый элемент профиля полностью или частично перестает воспринимать нагрузку, которая перераспределяется между остальными пластинчатыми элементами сечения профиля. При этом в сечении, где произошла местная потеря устойчивости, напряжения не обязательно превышают допустимые. Это явление называется редуцированием. Редуцирование заключается в уменьше-

нии, по сравнению с реальной, площади поперечного сечения профиля при сведении к идеализированной расчетной схеме.

В известных инженерных методиках расчета несущей способности профилей сложной формы опасность местной потери устойчивости практически не учитывается. На стадии эскизного проектирования конструкций из тонкостенных профилей очень важно иметь простой аппарат для оценки несущей способности конкретного типоразмера профиля. В связи с этим существует потребность в разработке инженерных методов расчета, позволяющих в процессе проектирования конструкций из тонкостенных профилей оперативно оценивать их несущую способность. Проверочный расчет несущей способности конструкции из тонкостенного профиля может быть произведен при помощи уточненных методов с применением существующих программных продуктов и при необходимости скорректирован. Такая двухступенчатая система расчета несущей способности конструкций из тонкостенных профилей наиболее рациональна. Поэтому разработка и внедрение инженерных методов расчета несущей способности конструкций из тонкостенных профилей с учетом местной потери устойчивости пластинчатых элементов является актуальной задачей.

Известные простейшие приемы теоретической оценки критических напряжений заключаются в расчленении профиля на отдельные пластинчатые элементы и последующим определением для каждого пластинчатого элемента критического напряжения при подходящих граничных условиях. За критическое напряжение принимают наименьшее критическое напряжение, полученное из расчета всех пластинок. Но этот прием дает достаточно точный результат только для профилей, граничные условия элементов которых четко выражены: для тонкостенной квадратной трубы, для крестообразного сечения с

различными полками, для равнобокого уголка без утолщений в сопряжении полков.

Для профилей, состоящих из нескольких сопряженных между собой пластинок разной ширины, граничные условия закрепления сложнее и значения критических напряжений определяются с учетом взаимодействия пластин. В этом случае аналитическое решение громоздко и практически нереализуемо.

Методика проектного расчета конструкций из тонкостенного профиля строится на базе аналитических, численных и экспериментальных исследований. При этом задача разделяется на три составляющие:

1. Определение толщины профиля (предельной $t_{пр}$), при которой нет необходимости учитывать местную потерю устойчивости в данном типе расчета;

2. Определение области допустимых нагрузок тонкостенного трапециевидного профиля, внутри которой обеспечивается несущая способность без местной потери устойчивости;

3. Определение области допустимых значений продольной силы и изгибающего момента, внутри которой обеспечивается несущая способность при местной потере устойчивости одного или нескольких пластинчатых элементов тонкостенного трапециевидного профиля.

При этом считается, что: методами сопротивления материалов или строительной механики получена зависимость изгибающего момента M от продольной силы N ($M(N)$) для рассчитываемой конструкции; известны допускаемые напряжения $[\sigma]$ и предел текучести материала σ_T . В представленной инженерной

методике предусмотрен метод «редуцирования» [1], так как при потере устойчивости исключается часть ширины соответствующего пластинчатого элемента.

Исходя из условия прочности, используя методы сопротивления материалов или строительной механики, определяются предельные размеры поперечного сечения профиля. После этого выбранный профиль проверяется на местную устойчивость. Для этого профиль разбивается на совокупность пластинчатых элементов (Рис.1.). При этом угол взаимного расположения соседних элементов не влияет на величину критического напряжения местной потери устойчивости, что было проверено экспериментально [1]. Затем для отдельной i -той пластины тонкостенного трапециевидного профиля шириной b_i при толщине t , модуле упругости материала E и коэффициенте Пуассона μ определяется критическое сжимающее напряжение местной потери устойчивости в упругой стадии нагружения по формуле [1]

$$\sigma_{кр,i} = k(\beta_{i-1}, \beta_{i+1})k(v_i) \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b_i}\right)^2. \quad (1)$$

Коэффициенты $k(\beta_{i-1}, \beta_{i+1})$, $k(v_i)$ учитывают соответственно влияние жесткости прилегающих пластинчатых элементов и характер распределения сжимающих напряжений по ширине пластинчатого элемента.

Значение $k(\beta_{i-1}, \beta_{i+1})$ вычисляется по формуле [1]

$$k(\beta_{i-1}, \beta_{i+1}) = \frac{1}{5,87} [(-2,3967\beta_{i+1}^3 + 3,5532\beta_{i+1}^2 - 2,6318\beta_{i+1} + 6,6015)] \times \times [(-2,0517\beta_{i-1}^3 + 3,0447\beta_{i-1}^2 - 2,3564\beta_{i-1} + 6,1012)] \quad (2)$$

$$\text{Где } \beta_{i-1} = \frac{b_{i-1}}{b_i} \text{ при } b_i \geq b_{i-1} \text{ и } \beta_{i-1} = 1 \text{ при } b_i \leq b_{i-1},$$

$$\beta_{i+1} = \frac{b_{i+1}}{b_i} \text{ при } b_i \geq b_{i+1} \text{ и } \beta_{i+1} = 1 \text{ при } b_i \leq b_{i+1}.$$

Значение $k(v_i)$ вычисляется как [1]

$$k(v_i) = e^{0,9 \cdot v_i}, \quad (3)$$

Где

$$v_i = \frac{\sigma_i(y)_{\min} - \sigma_i(y)_{\max}}{\sigma_i(y)_{\min}}, \text{ при } \sigma_i(y)_{\min} \leq 0. \quad (4)$$

При $\sigma_i(y)_{\min} > 0$ местная потеря устойчивости невозможна и, можно принять $v_i \rightarrow \infty$. За критическое напряжение местной потери устойчивости всего профиля принимается наименьшее значение из всех полученных напряжений. Местную потерю устойчивости следует учитывать, если критическое напря-

жение местной потери устойчивости профиля меньше допускаемого напряжения на материал. Величина t_{np} определяется из равенства

$$[\sigma] = \sigma_{кр, мин} \quad (5)$$

Для построения области допустимых нагрузок необходимо определить нормальное напряжение в профиле, используя известные формулы сопротивления материалов. Граница области допустимых нагрузок по методу

допускаемых напряжений без местной потери устойчивости выглядит следующим образом

$$[\sigma] \geq \left[\frac{N}{F} + \frac{M}{W} \right] \quad (6)$$

Графическая интерпретация области допустимых нагрузок представлена на (Рис. 2.).

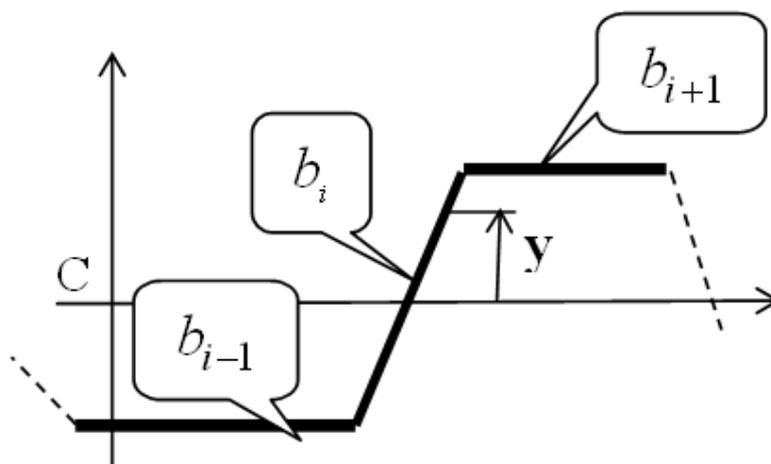


Рис. 1. Схема разбиения

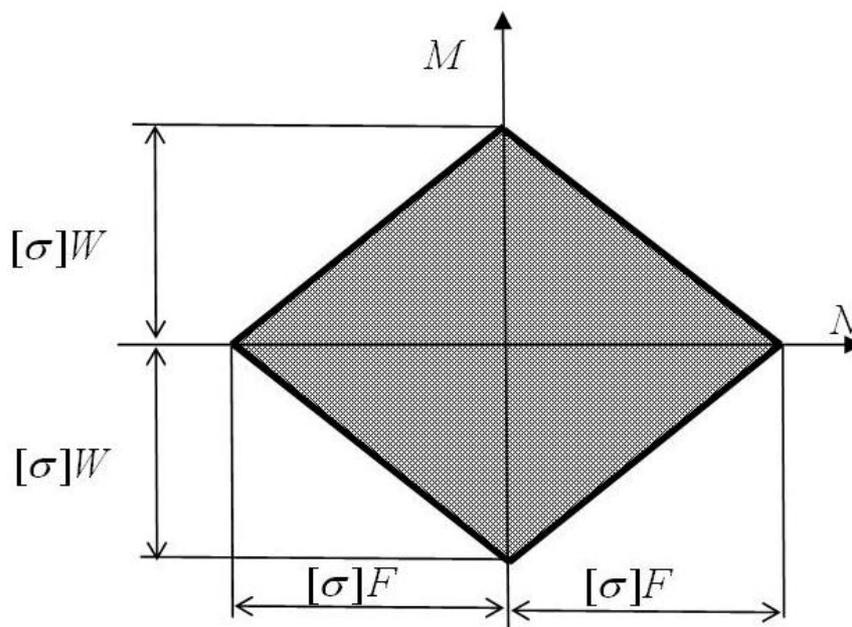


Рис. 2. Область допустимых нагрузок по допускаемым напряжениям без местной потери устойчивости

Попадание нагрузочной характеристики $M(N)$ в заштрихованную область означает работу в области допускаемых напряжений.

Если принять, что местная потеря устойчивости является предельным состоянием, то область допустимых нагрузок дополнительно будет ограничиваться линией местной потери

устойчивости элементом с наименьшим критическим напряжением по (1)

$$-\sigma_{кр, мин} = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}. \quad (7)$$

Графическая интерпретация области допустимых нагрузок с учетом местной потери устойчивости представлена на (Рис. 3.).

Описанная методика может быть использована в проектно-конструкторской деятельности и позволит на стадии эскизного проектирования конструкций из тонкостенного профиля правильно подобрать размеры поперечного сечения профиля, учитывая местную потерю устойчивости.

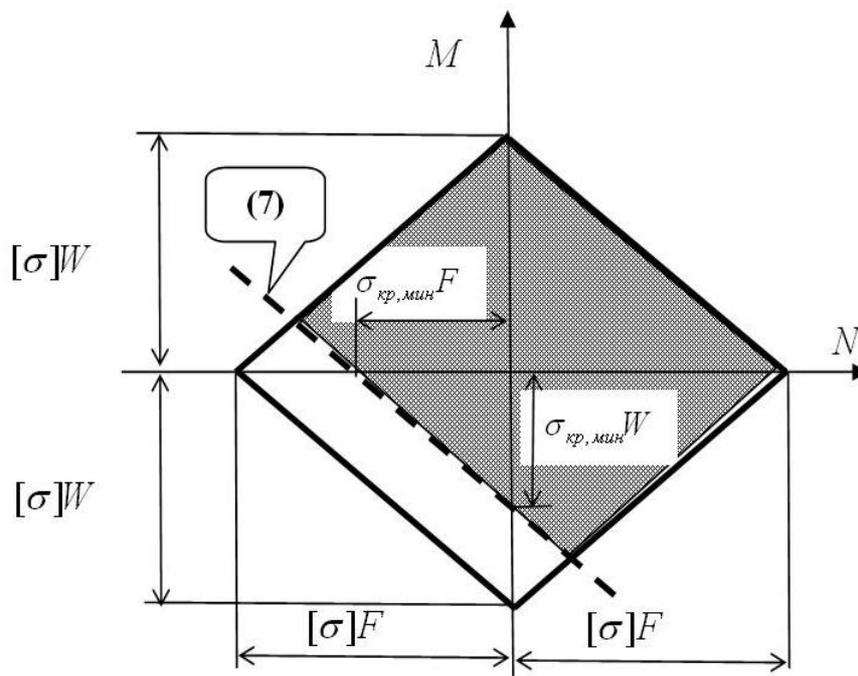


Рис. 3. Область допустимых нагрузок по допускаемым напряжениям с учетом местной потери устойчивости

Библиографический список

1. Холкин, Е. Г. Исследование местной устойчивости тонкостенных трапециевидных профилей при продольно-поперечном изгибе [Текст]: дис. ... канд. техн. Наук: 01.02.06: защищена 30.09.10: утв. 21.01.11 / Холкин Евгений Геннадьевич. – Омск, 2010. – 118 с.

DETERMINATION OF BEARING ABILITY OF THIN-WALLED DESIGNS TAKING INTO ACCOUNT LOCAL LOSS OF STABILITY

Z. N. Sokolovsky, E. G. Holkin

In the article the engineering technique of verifying calculation of bearing ability of designs from a thin – walled profile taking into account local loss of stability is described. The technique is under construction on the basis of analytical, numerical and pilot studies.

Соколовский Зиновий Наумович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Сопротивление материалов» Омский государственный технический университет (ОмГТУ).

Холкин Евгений Геннадьевич-кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Сопротивление материалов» Омский государственный технический университет (ОмГТУ).

РАЗДЕЛ III

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 621.336.2

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА

С. А. Ступаков, О. А. Сидоров, В. М. Филиппов, А. А. Орлов

Аннотация. В статье рассмотрено построение математической модели механического изнашивания элементов контактных пар токоприемников электрического подвижного состава.

Ключевые слова: математическая модель, изнашивание, контактная пара, устройства токосъема.

Введение

Контактная пара устройств токосъема как монорельсового, так и магистрального электрического транспорта представляет собой узел, который функционирует в условиях электромеханического изнашивания. Моделирование процесса трения в контактных парах устройств токосъема связано с необходимостью решения многофакторной задачи, снизить количественный уровень которой позволяет теория подобия [1]. Ввиду неоднородности составляющих процесса электромеханического изнашивания контактных пар устройства токосъема электрического транспорта необходимо составлять соответствующие модели для механического (от нажатия в контакте) и электрического (от токовой нагрузки) изнашивания [2]. Это позволит исследовать влияние на изнашивание отдельно каждой составляющей трибологического процесса, определить оптимальные уровни факторов и прогнозировать работоспособность контактной пары. В качестве входных значений для моделирования процесса внешнего трения и изнашивания используются характеристики материалов и результаты экспериментальных исследований изнашивания элементов контактной пар.

Основная часть

Уравнение для решения задачи об оптимальных условиях механического изнашивания при поиске области оптимума приведено в работе [3] Э. Д. Брауна, Ю. А. Евдокимова, А. В. Чичинадзе. В этом уравнении в соответствии с положениями теории подобия в комплексы и симплексы были объединены следующие факторы:

- 1) нажатие в контакте, удельная теплоемкость, теплопроводность – комплекс;
- 2) скорость скольжения, время испытания – комплекс;
- 3) твердости элементов пары трения – симплекс.

Кроме этого, уравнение, приведенное в работе [3], содержит симплекс, учитывающий процентное содержание в элементе контактной пары основного материала. Например, для случая исследования контактных пар устройств токосъема таким материалом может быть медь или графит. В качестве параметра оптимизации принята интенсивность механического изнашивания I_M .

Функциональная зависимость между I_M и факторами модели имеет вид:

$$I_M = \psi_2(P, v, t, r, Cu, H_1/H_2, \lambda_1, \lambda_2, c_1, c_2), \quad (1)$$

где P – нажатие в контакте; v – скорость скольжения; t – время испытаний; r – характерный линейный размер; Cu – содержание меди в элементе контактной пары (ЭКП); H_1/H_2 – безразмерный симплекс (отношение твердости материала ЭКП к твердости материала токопровода); λ_1, λ_2 – теплопроводности материалов ЭКП и токопровода соответственно; c_1, c_2 – удельные теплоемкости ЭКП и токопровода соответственно.

Зависимость (1) может быть использована и для контактной пары «контактная вставка (КВ) – контактный провод». В этом случае факторы модели отражают физико-механические параметры контактной вставки и контактного провода.

На основании π -теоремы из зависимости (1) возможно получить уравнение подобия [3] следующего вида:

$$I_M = \Psi_3 \left[\left(\frac{Ptc_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left(\frac{vt}{r} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m} \right]. \quad (2)$$

Из уравнения (2) можно получить расчетное выражение для расчета интенсивности механического изнашивания элементов контактных пар:

$$I_M(P) = a_0 \left(\frac{Ptc_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left(\frac{vt}{r} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m}, \quad (3)$$

где a_0 – функционал, отражающий влияние на процесс неучтенных факторов; α_m – функционал, логарифмически зависящий от нажатия в контакте; $\beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m$ – коэффициенты, определяемые экспериментально; $Ptc_2/(r^2 \lambda_1)$ – комплекс (мера отношения удельной мощности трения к способности токопровода накапливать, а контактного элемента – передавать тепло); vt/r – комплекс (отношение пути трения к характерному линейному размеру элемента).

По результатам расчета построены графики интенсивности механического изнашивания ЭКП из металлокерамики на железной основе (МК-Ж) (рис. 1, а) и КВ из МК-Ж (рис. 1, б). На рис. 1. приняты следующие обозначения: 1 – результаты эксперимента; 2 – результаты расчета по формуле (3).

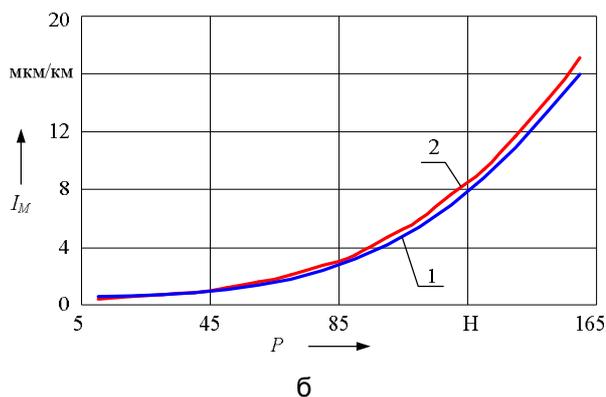
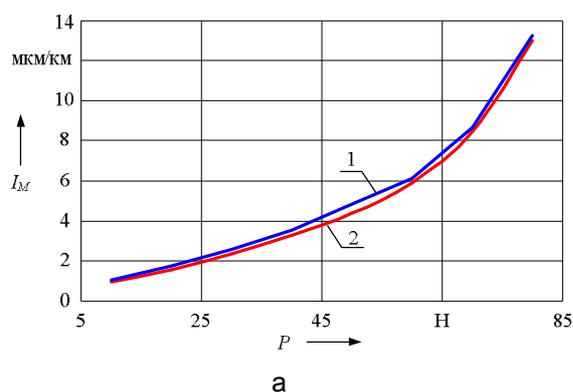


Рис. 1. Интенсивность механического изнашивания при нормальных условиях окружающей среды: а – ЭКП из МК-Ж; б – КВ из МК-Ж

Сравнение данных расчета интенсивности механического изнашивания с результатами эксперимента, полученными при различных параметрах окружающей среды, показывает, что значение относительной погрешности составляет до 20 %.

Для повышения точности расчета износа ЭКП и КВ в модель были внесены критерии, позволяющие учитывать изменение влажности и запыленности окружающей среды [5].

$$I_M(P) = a_0 \left(\frac{Ptc_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left(\frac{vt}{r} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m} \left(\frac{T_1 \lambda_1}{rf_t P v} \right)^{\delta_m} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m}, \quad (4)$$

где $Me \equiv \frac{T_1 \lambda_1}{rf_t P v}$ – критерий Мейера; Pv – мощность трения, f_t – коэффициент трения; φ_0/φ –

Кроме этого, многие авторы [1 – 4, 6] доказали влияние температуры элементов контактной пары на их твердость и, как следствие, на фактическую площадь контакта. В связи с этим в уравнение (3) добавлен критерий, позволяющий учитывать влияние силы трения в скользящем контакте на износ элементов контактной пары. На основании π -теоремы перепишем уравнение (3):

отношение среднего значения относительной влажности окружающей среды за пять лет к значению относительной влажности на мо-

мент исследований; κ_0/κ – отношение среднего значения запыленности окружающей среды за пять лет к значению ее запыленности на момент исследований.

Анализ результатов эксперимента показал, что значение износа элементов контактной пары в значительной мере определяется их температурой. Поэтому дальнейшее усо-

вершенствование модели обусловлено необходимостью учитывать в модели влияние температуры элементов контактной пары на их твердость и на фактическую площадь контакта. Таким образом, уравнение (4) с учетом температуры элементов контактной пары [5] можно записать в виде:

$$I_M(P) = a_0 \left(\frac{Ptc_2}{(r(T_{l_h}))^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left(Bi \frac{vt}{r(T_{l_h})} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1(T_{l_h})}{H_2(T_{l_h})} \right)^{\varepsilon_m} \left(\frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{l_h}) f_\tau(T_{l_h}) Pu} \right)^{\delta_m} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m}, \quad (5)$$

где $T_{l_h} = aT_n^{\alpha_\tau} + b \left(\frac{\partial T_n}{\partial z} \right)^{\beta_\tau}$ – коэффициент влияния температурного градиента на интенсивность изнашивания (a, b – коэффициенты, характеризующие тепловые свойства материалов; α_τ, β_τ – коэффициенты, характеризующие тепловые процессы при взаимодействии элементов контактной пары; определяются экспериментально); T_n – температура ис-

следуемого n -го тела; $\partial T_n / \partial z$ – градиент температуры элемента контактной пары по нормали z к его поверхности.

Представим теплопроводность материала [7] ЭКП в виде:

$$\lambda_1 = \rho_1 c_1 \chi, \quad (6)$$

где ρ_1, χ – плотность и температуропроводность материала соответственно.

Тогда

$$I_M(P) = a_0 \left(\frac{Ptc_2}{r(T_{l_h})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right)^{\alpha_m} \left[Bi \cdot \left(\frac{vt}{r(T_{l_h})} \right) \right]^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1(T_{l_h})}{H_2(T_{l_h})} \right)^{\varepsilon_m} \times \left(\frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{l_h}) f_\tau(T_{l_h}) Pu} \right)^{\delta_m} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m}, \quad (7)$$

где $H_i(T_{l_h}) = H_{0i} \left\{ m_1 + \frac{m_2}{[m_3(T_{l_h} - T'_m)]^2 + 1} \right\}$ – твердость материала элемента контактной пары в зависимости от его температуры [8]; H_{0i} – то же при нормальной температуре; m_1, m_2, m_3 – константы материала; T'_m – температура, при которой $H_i(T_{l_h})$ принимает макси-

мальное значение; $Bi = \frac{r \nabla T_1}{\Delta T_{1в}}$ – критерий Био, устанавливающий соответствие между интенсивностью теплообмена и распределением температуры в твердом теле; $r \nabla T_1$ – перепад температуры по объему ЭКП; $\Delta T_{1в} = T_1 - T_в$ – температурный напор (разность температур материала ЭКП и окружающей среды).

Введем обозначения

$$X_1 = \left(\frac{Ptc_2}{r(T_{l_h})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right), X_2 = \left(\frac{vt}{r(T_{l_h})} \right), X_3 = (Cu), X_4 = \left(\frac{H_1(T_{l_h})}{H_2(T_{l_h})} \right), X_5 = \left(\frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{l_h}) f_\tau(T_{l_h}) Pu} \right), X_6 = \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right), X_7 = \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right), \quad (8)$$

где $X_1 - X_7$ – независимые переменные (факторы).

Представим зависимость (7) в следующем виде:

$$I_M(P) = a_0 X_1^{\alpha_m} X_2^{\beta_m} X_3^{\gamma_m} X_4^{\varepsilon_m} X_5^{\delta_m} X_6^{\lambda_m} X_7^{\omega_m}. \quad (9)$$

Прологарифмируем это уравнение

$$\ln I_M = \ln a_0 + \alpha_m \ln X_1 + \beta_m \ln X_2 + \gamma_m \ln X_3 + \varepsilon_m \ln X_4 + \delta_m \ln X_5 + \lambda_m \ln X_6 + \omega_m \ln X_7. \quad (10)$$

На основании положений третьей теоремы подобия и материалов работы Э. Д. Брауна [3] можно сделать вывод, что показатели степеней $\beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m, \delta_m, \lambda_m, \omega_m$ факторов $X_2 \div X_7$ не зависят от нажатия в контакте. Перепишем уравнение (10) в следующем виде:

$$\ln I_M = \ln a_0 + \alpha_m \ln X_1 + \zeta, \quad (11)$$

где
$$\zeta = \beta_m \ln X_2 + \gamma_m \ln X_3 + \varepsilon_m \ln X_4 + \delta_m \ln X_5 + \lambda_m \ln X_6 + \omega_m \ln X_7.$$

Преобразуем уравнение (11)

$$\ln a_0 + \alpha_m \ln X_1 = \ln I_M - \zeta, \quad (12)$$

Подставим в (12) величину нажатия в контакте P_i ($i = 0, 1, \dots, n$) и составим систему уравнений, соответствующую матрице Грама:

$$\begin{cases} \langle \ln a_{01}, \alpha_{m1} \rangle P_1 + \langle \ln a_{01}, \alpha_{m2} \rangle P_2 + \dots + \langle \ln a_{01}, \alpha_{mn} \rangle P_n = \langle \ln a_{01}, I_M \rangle, \\ \langle \ln a_{02}, \alpha_{m1} \rangle P_1 + \langle \ln a_{02}, \alpha_{m2} \rangle P_2 + \dots + \langle \ln a_{02}, \alpha_{mn} \rangle P_n = \langle \ln a_{02}, I_M \rangle, \\ \dots \\ \langle \ln a_{0n}, \alpha_{m1} \rangle P_1 + \langle \ln a_{0n}, \alpha_{m2} \rangle P_2 + \dots + \langle \ln a_{0n}, \alpha_{mn} \rangle P_n = \langle \ln a_{0n}, I_M \rangle. \end{cases} \quad (13)$$

Решая систему уравнений (13) с помощью определителя Грама, получим зависимости для определения коэффициентов модели $a_0 \sim P$ и $\alpha_m \sim P$.

На рис. 2, и 3 приведены номограммы для определения коэффициентов модели a_0 и α_m . Коэффициенты $\beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m, \lambda_m, \delta_m$ и ω_m модели от нажатия не зависят, их значения почти постоянны и определяются физико-механическими свойствами материалов и условиями проведения эксперимента. На рис. 2 и 3 приняты следующие обозначения: 1 – МК-Ж; 2 – графит; 3 – бронза; 4 – ПМГ; 5 – сталь.

На основании анализа уравнения (7) можно сделать вывод о том, что для всех исследуемых материалов наиболее значительное влияние на параметр оптимизации оказывают механические свойства пары трения, а наименее значительный вклад в процесс изнашивания вносит параметр, учитывающий изменение нажатия в контакте. Скорость трения и

отношение твердостей также вносят весомый вклад в процесс изнашивания. Особая роль отводится симплексу *Su*, так как он представлен в чистом виде и не входит в комплекс в виде составляющей – это указывает на ведущее влияние данного фактора на процесс изнашивания материалов, в состав которых входит медь.

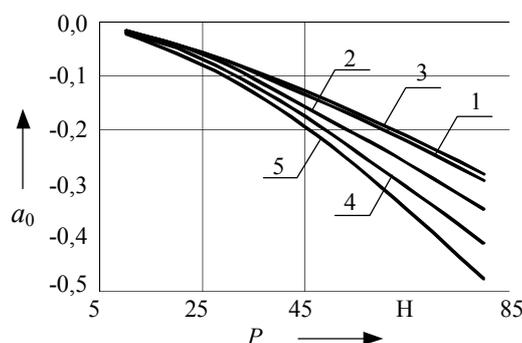


Рис. 2. Номограммы для определения функционала a_0 модели механического изнашивания

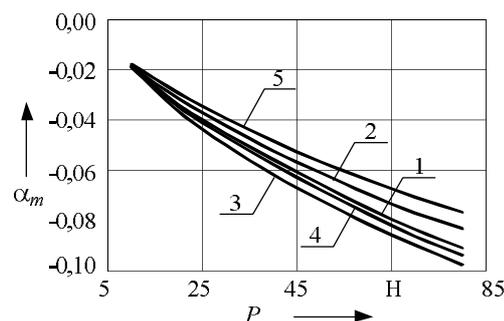


Рис. 3. Номограммы для определения функционала α_m модели механического изнашивания

На рис. 4. и 5. приведены графики механического изнашивания ($I = 0$) контактных элементов, полученные экспериментально и в результате расчета на модели (уравнение (7)): рис. 4 – графики для контактных элементов (МК-Ж) токоприемников монорельсового транспорта; рис. 5 – для контактных вставок (МК-Ж) токоприемников магистрального подвижного состава. Графики получены при нормальных условиях окружающей среды (температура окружающего воздуха $+ 23 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность 50 %, запыленность 3 мг/м^3). На рис. 4 и 5 приняты обозначения: 1 – результаты эксперимента; 2 – результаты расчета по формуле (7). Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет 6 %.

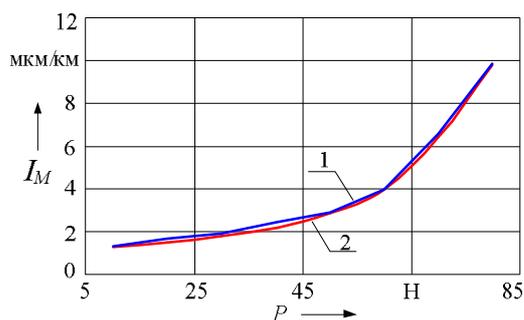


Рис. 4. Интенсивность изнашивания ЭКП из МК-Ж

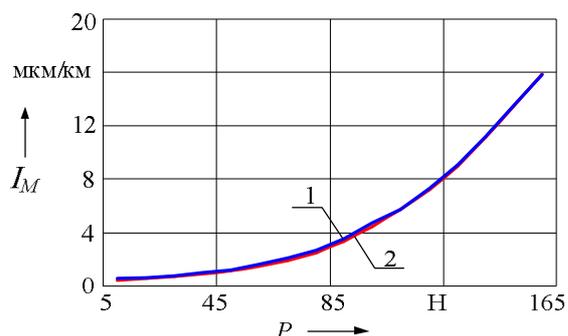


Рис. 5. Интенсивность изнашивания KB из МК-Ж

Заключение

Анализ графиков на рис. 4. и 5. позволяет сделать заключение о возможности использования формулы (7) для моделирования механической составляющей изнашивания ЭКП и KB. Однако заключение о трибосовместимости и задиростойкости материалов контактной пары можно сделать только на основании результатов экспериментальных исследований.

Библиографический список

1. Браун Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
2. Горюнов В. Н. Влияние поверхностной модификации на фреттингостойкость материалов энергоустановок и газотурбинных двигателей / В. Н. Горюнов, П. Б. Гринберг, Е. Е. Тарасов, К. Н. Полещенко // Вестник Омского университета / Омский гос. ун-т им. Ф. М. Достоевского. – Омск. № 2. 2012. – С. 214-244.
3. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
4. Крагельский И. В. Усталостный механизм и краткая методика аналитической оценки величины износа поверхностей трения при скольжении / И. В. Крагельский, Е. Ф. Непомнящий, Г. М. Харач. – М.: Издательство АН СССР, 1967. – 19 с.
5. Мышкин Н. К. Электрические контакты / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 560 с.

6. Ступаков С. А. Моделирование электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / С. А. Ступаков, О. А. Сидоров, В. М. Филиппов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М: Машиностроение. № 2. 2012. – С. 37 – 47.

7. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка / А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

8. Biesenack H. Kontakt zwischen Fahrdrabt und Schleifleiste–Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes / H. Biesenack, F. Pintscher // Elektrische Bahnen. – München: Oldenbourg Industrier Verlag GmbH, 2005. № 3. – P. 138 – 146.

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS MECHANICAL WEAR CONTACT PAIRS DEVICES CURRENT COLLECTION

S. A. Stupakov, O. A. Sidorov,
V. M. Philippov, A. A. Orlov

In the article are considered the construction of a mathematical model of the mechanical wear of the elements of contact pairs pantographs electric vehicles.

Ступаков Сергей Анатольевич - кандидат технических наук, доцент. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения», кафедра «Информатика, прикладная математика и механика». Основное направления научной деятельности - Исследование изнашивания элементов контактных пар устройств токосъема. Общее количество опубликованных работ: 137. e-mail: stupakov1@yandex.ru.

Сидоров Олег Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения» кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта» Основные направления научной деятельности Системы токосъема с жесткими токопроводами, скоростные контактные подвески, системы авторегулирования нажатия, исследование изнашивания элементов контактных пар устройств токосъема. Общее количество опубликованных работ: 310. e-mail: sidorovoa@omgups.ru

Филиппов Виктор Михайлович - кандидат технических наук, преподаватель. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения», кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта». Основные направления научной деятельности - Исследование изнашивания элементов контактных пар устройств токосъема, автоматика и телемеханика систем электроснабжения. e-mail: fvm-omgups@mail.ru.

Орлов Александр Андреевич – студент. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения», электромеханический факультет, кафедра «Электроснабжение железно-

дорожного транспорта». Основные направления научной деятельности - Исследование изнашивания элементов контактных пар устройств токо-съемма. Общее количество опубликованных работ: 2. e-mail: alex2009.95@mail.ru.

УДК.625.084

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ “ВИБРАЦИОННЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН - ГРУНТ”

Г. И. Шабанова, С. В. Савельев, Г. Г. Бурый

Аннотация. В данной статье рассмотрено применение математического решения для описания колебательной системы “вибрационный рабочий орган - грунт”, при уплотнении грунта металлическим вальцом вибрационного катка. Найдены параметры характеризующие колебательное движение.

Ключевые слова: математическое описание, уплотнение, колебательная система, виброускорение, грунт.

Введение

В транспортном строительстве для уплотнения грунтов получили большое распространение вибрационные машины. Совершая колебательные движения, эти машины вводят также в состояние колебаний и расположенные под ними массы грунта. [4]

Машины для вибрационного уплотнения делятся на вибрационные плиты и катки. Причем катки получили гораздо большее распространение вследствие большой универсальности и многотипности рабочих органов. [3]

Основная часть

Настройка режимов работы вибрационной машины является одним из основных факторов, влияющих на эффективность процесса уплотнения. Одним из основных критериев эффективности виброуплотнения являются виброускорения в уплотняемом слое.

На рисунке 1 показана схема взаимодействия рабочего органа вибрационного катка с уплотняемой средой.

На рисунке 2 показана динамическая модель колебательной системы «рабочий орган - грунт».

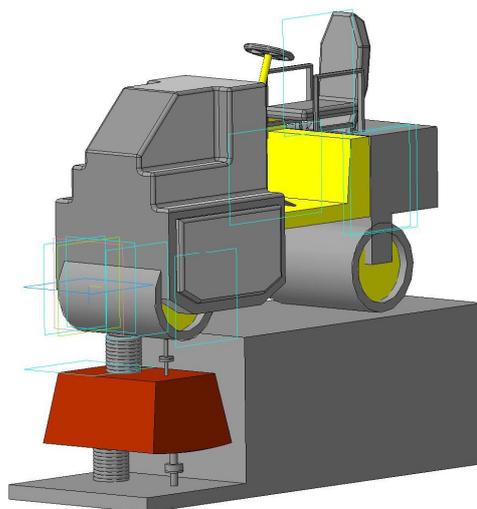


Рис. 1 . Взаимодействие рабочего органа вибрационного катка с уплотняемой средой

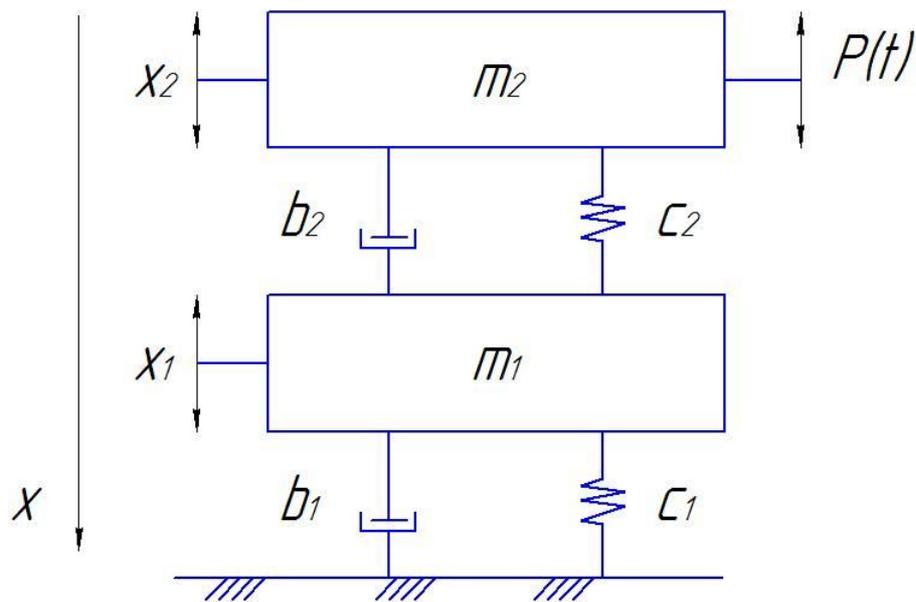


Рис. 2. Динамическая модель колебательной системы «рабочий орган - грунт»

Модель включает параллельно соединенные элементы жесткости и вязкости, где b_1 и b_2 – коэффициенты вязкого трения грунта и рабочего органа, а c_1 и c_2 – коэффициенты жесткости грунта и рабочего органа. На модели показано взаимодействие колеблющихся масс m_2 – рабочего органа и m_1 – грунта в зоне активного действия вибрации. Колебание массы m_2 происходит под действием вынуждающей силы P . Под воздействием колебаний, массы получают относительные перемещения x_1 и x_2 , которые прямо пропорциональны виброускорениям системы. Вращение эксцентрика происходит с угловой частотой ω , рад/с.

Математическое описание системы колебаний двух масс «вибрационный рабочий орган – уплотняемая среда» имеет вид [5]

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 + b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_2(x_2 - x_1) - m_2 \cdot g = P \cos \omega t; & (1) \\ m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + b_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1 x_1 + c_2(x_1 - x_2) - m_1 \cdot g = 0, & (2) \end{cases}$$

$$x_1 = x_1(t), x_2 = x_2(t), t \in (0, T)$$

Решения системы удовлетворяют начальным данным

$$x_1(0) = 0, \dot{x}_1(0) = 0; \quad (3)$$

$$x_2(0) = 0, \dot{x}_2(0) = 0. \quad (4)$$

Решим задачу Коши (1) – (4) при средних значениях параметров.

Почленно сложим уравнения системы (1), (2) и выразим $\ddot{x}_2(t)$ через $x_1(t)$ и производные этой функции.

$$m_2 \ddot{x}_2 + m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 = P \cos \omega t + (m_1 + m_2)g$$

$$\ddot{x}_2 = -\frac{m_1}{m_2} \ddot{x}_1 - \frac{b_1}{m_2} \dot{x}_1 - \frac{c_1}{m_2} x_1 + \frac{P \cos \omega t}{m_2} + \frac{m_1 + m_2}{m_2} g \quad (5)$$

Полезно вычислить \ddot{x}_2

$$\ddot{x}_2 = -\frac{m_1}{m_2} \ddot{x}_1 - \frac{b_1}{m_2} \dot{x}_1 - \frac{c_1}{m_2} x_1 - \frac{P}{m_2} \omega \sin \omega t. \quad (6)$$

Продифференцируем второе уравнение системы дважды

$$m_1 \overset{iv}{x}_1 + b_1 \overset{iii}{x}_1 + b_2 \left(\overset{iii}{x}_1 - \overset{iii}{x}_2 \right) + c_1 \overset{ii}{x}_1 + c_2 \left(\overset{ii}{x}_1 - \overset{ii}{x}_2 \right) = 0$$

и преобразуем его с помощью равенств (5), (6) в дифференциальное уравнение четвертого порядка относительно функции $x_1(t)$.

$$\begin{aligned}
 & x_1^{IV} + \left(\frac{b_1}{m_1} + \frac{b_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1} \right) x_1''' + \left(\frac{b_1 b_2}{m_1 m_2} + \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1} \right) x_1'' + \\
 & \left(\frac{c_1 b_2}{m_1 m_2} + \frac{b_1 c_2}{m_1 m_2} \right) x_1' + \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2} x_1 = \frac{P c_2}{m_1 m_2} \cos \omega t - \frac{P b_2}{m_1 m_2} \omega \sin \omega t + \\
 & \frac{c_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1} g
 \end{aligned} \tag{7}$$

По теореме о структуре решения дифференциальных уравнений со специальным видом правой части [1] $x_1(t) = x_1^0(t) + x_1^*(t)$,

где $x_1^0(t)$ - общее решение однородного дифференциального уравнения, соответствующего (7), а $x_1^*(t)$ - частное решение (7).

Определим $x_1^0(t)$. Для однородного уравнения

$$x_1^{IV} + \bar{A} x_1''' + \bar{B} x_1'' + \bar{C} x_1' + \bar{D} x_1 = 0 \tag{8}$$

составим характеристическое уравнение

$$F(r) = r^4 + \bar{A} r^3 + \bar{B} r^2 + \bar{C} r + \bar{D} = 0 \tag{9}$$

$$\bar{A} = \frac{b_1}{m_1} + \frac{b_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1};$$

$$\bar{B} = \frac{b_1 b_2}{m_1 m_2} + \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1};$$

$$\bar{C} = \frac{c_1 b_2}{m_1 m_2} + \frac{b_1 c_2}{m_1 m_2};$$

$$\bar{D} = \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2}.$$

Многочлен четвертой степени $r^4 + \bar{A} r^3 + \bar{B} r^2 + \bar{C} r + \bar{D}$ имеет два действительных различных и два комплексных сопряженных корня.

Уравнение (9) представим в равносильном виде

$$r = f(r) = -\frac{\bar{D}}{\bar{C}} - \frac{1}{\bar{C}} r^4 - \frac{\bar{A}}{\bar{C}} r^3 - \frac{\bar{B}}{\bar{C}} r^2$$

Применим метод итераций. В качестве первого приближения корня возьмем

$$r_1^{(1)} = -\frac{\bar{D}}{\bar{C}}. \text{ Последующие приближения}$$

вычислим по формуле

$$r_1^{(n)} = f(r_1^{(n-1)}).$$

Из [2] известно, что если функция $f(r)$ определена и дифференцируема на отрезке $[a, b]$ и $|f'(r)| < 1$ при $a < r < b$, то процесс итерации

$$r_1^{(n)} = f(r_1^{(n-1)}), \quad n=1,2,\dots, \text{ сходится независимо}$$

от начального значения $r_1^{(1)} \in [a, b]$ и предельное значение $r_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} r_1^{(n)}$ является единственным корнем уравнения $r = f(r)$ на отрезке $[a, b]$.

Уточнение корней не имеет практического значения, т.к. при $r_1 = r_1^{(1)} + \alpha$ частное решение уравнения (8) имеет вид

$$x_1^{(1)}(t) = e^{r_1 t} = e^{(r_1^{(1)} + \alpha)t} = e^{r_1^{(1)} t} \cdot e^{\alpha t} = e^{r_1^{(1)} t}, \quad \alpha$$

- бесконечно малая величина.

Теперь правую часть уравнения (9) разложим по формуле Тейлора в окрестности точки $r_1^{(1)}$. Получим уравнение в новом виде.

$$\begin{aligned}
 F(r) = & F(r_1^{(1)}) + \frac{F'(r_1^{(1)})}{1!} (r - r_1^{(1)}) + \frac{F''(r_1^{(1)})}{2!} (r - r_1^{(1)})^2 + \frac{F'''(r_1^{(1)})}{3!} (r - r_1^{(1)})^3 \\
 & + \frac{F^{IV}(r_1^{(1)})}{4!} (r - r_1^{(1)})^4 = 0
 \end{aligned} \tag{10}$$

Полагая $F(r_1^{(1)}) \approx 0$, разделим (10) на $r - r_1^{(1)}$, полученный многочлен приведем к виду.

$$\hat{f}(r) = r^3 + \tilde{A}r^2 + \tilde{B}r + \tilde{C} = 0,$$

где $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}$ - коэффициенты многочлена получаемые при приведении (10) к стандартной форме.

Рассмотрим случай, когда многочлен имеет один действительный и 2 комплексных сопряженных корня.

Корни полученного уравнения удовлетворяют соотношениям

$$\begin{cases} r_2 + r_3 + r_4 = -\tilde{A} \\ r_2(r_3 + r_4) + r_3r_4 = \tilde{B} \\ r_2 \cdot r_3 \cdot r_4 = -\tilde{C} \end{cases} \quad (11)$$

При значениях корней $r_2, r_{3,4} = x \pm iy$

Учитывая результаты, полученные выше, запишем общее решение уравнения (8)

$$x_1^0(t) = C_1 e^{r_1^{(1)}t} + C_2 e^{xt} + C_3 e^{xt} \cos(yt) + C_4 e^{xt} \sin(yt) \quad (12)$$

Подберем частное решение $x_1^*(t)$, соответствующее правой части уравнения (7).

$$x_1^*(t) = M \cos \omega t + N \sin \omega t + L \quad (13)$$

Подставим (13) и производные $x_1^*(t)$ до четвертого порядка в (7). Получим уравнение

$$\begin{aligned} & M\omega^4 \cos \omega t + N\omega^4 \sin \omega t + \bar{A}M\omega^3 \sin \omega t - \bar{A}N\omega^3 \cos \omega t - \bar{B}M\omega^2 \cos \omega t - \\ & \bar{B}N\omega^2 \sin \omega t - \bar{C}M\omega \sin \omega t + \bar{C}N\omega \cos \omega t + \bar{D}M \cos \omega t + \bar{D}N \sin \omega t + L\bar{D} = \\ & \frac{P}{m_1 m_2} \cos \omega t - \frac{P}{m_1 m_2} \frac{b_2}{\omega} \sin \omega t + \frac{c_2}{m_2} \frac{m_1 + m_2}{m_1} g = \mu \cdot \cos \omega t + \eta \cdot \sin \omega t + \frac{c_2}{m_2} \frac{m_1 + m_2}{m_1} g; \\ & \mu = \frac{P}{m_1 m_2} \frac{c_2}{\omega}; \eta = -\frac{P}{m_1 m_2} b_2; \eta = \eta(\omega). \end{aligned}$$

Из сравнения тригонометрических многочленов в полученном соотношении следует,

$$\text{что } L\bar{D} = \frac{c_2}{m_2} \frac{m_1 + m_2}{m_1} g.$$

Неизвестные коэффициенты M и N удовлетворяют системе двух линейных уравнений

$$\begin{cases} M(\omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D}) + N(-\bar{A}\omega^3 + \bar{C}\omega) = \mu \\ M(\bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega) + N(\omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D}) = \eta \end{cases}$$

По формулам Крамера находим

$$M = \frac{\Delta_M}{\Delta}; N = \frac{\Delta_N}{\Delta}.$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D} & -(\bar{A}\omega^3 - \bar{N}\omega) \\ \bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega & \omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D} \end{vmatrix} = (\omega^4 - \bar{A}\omega^2 + \bar{D})^2 + (\bar{A}\omega^3 - \bar{N}\omega)^2 > 0$$

$$\Delta_M = \begin{vmatrix} \mu & -(\bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega) \\ \eta & \omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D} \end{vmatrix} = \mu(\omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D}) + \eta(\bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega),$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D} & \mu \\ \bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega & \eta \end{vmatrix} = \eta(\omega^4 - \bar{B}\omega^2 + \bar{D}) - \mu(\bar{A}\omega^3 - \bar{C}\omega).$$

M, N, L подставим в (12).

Константы интегрирования определим в соответствии с начальными условиями и подставим в общее решение уравнения. По смыслу задачи $C_3=C_4=0$.

Общее решение уравнения (7) имеет вид

$$x_1(t) = C_1 e^{r_1^{(1)}t} + C_2 e^{r_2 t} + M \cos \omega t + N \sin \omega t + L \quad (14)$$

Вычислим вибрационные ускорения $\ddot{x}_1(t)$

и $\ddot{x}_2(t)$. Для этого продифференцируем (14) дважды.

$$\dot{x}_1(t) = r_1^{(1)} \cdot C_1 e^{r_1^{(1)}t} + r_2 \cdot C_2 e^{r_2 t} - M \cdot \omega \cdot \sin \omega t + N \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\ddot{x}_1(t) = r_1^{(1)2} \cdot C_1 e^{r_1^{(1)}t} + r_2^2 \cdot C_2 e^{r_2 t} - M \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t - N \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

$\ddot{x}_2(t)$ вычислим по формуле (5)

Заключение

В результате моделирования получены зависимости позволяющие определить виброускорения массы грунта и рабочего органа, определить рациональные, с точки зрения эффективности передачи вибрации, параметры колебательной системы, назначать эффективные режимы работы уплотнителя.

Для проверки адекватности математического описания, было рассмотрено вибрационное уплотнение суглинистого грунта влажностью 14%, плотностью 1900 кг/м³, катком ДУ-107. Для расчета виброускорений были взяты следующие исходные данные: $b_1=2,9 \cdot 10^6$ Н*с/м; $b_2=1$ Н*с/м; $c_1=2,7 \cdot 10^6$ Н*с/м; $c_2=4,0 \cdot 10^{10}$ Н*с/м; $m_1=113$ кг; $m_2=500$ кг; $\omega=0-380$ рад/с; $P=0-6,2$ кН. Наибольшие виброускорения получены на частоте приблизительно в 30 Гц и составили $\ddot{x}_1 = 5,5$ м/с². Характеристики процесса уплотнения, полученные при данном математическом описании, подтверждаются экспериментальными исследованиями.

Библиографический список

1. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления, т. 2. Издательство "Наука". Москва. 1972. – 576 с.
2. Демидович Г. П., И. А. Марон. Основы вычислительной математики. Издательство "Наука". Москва. 1966. – 664 с.
3. Савельев С. В. Уплотнение грунтов катками с адаптивными рабочими органами: монография. – Омск: СибАДИ, 2010. – 122 с.
4. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Москва. "Транспорт", 1975, 288 с.
5. Закирзаков Г. Г. Экспериментально-теоретическое определение параметров двухмассовой колебательной системы / Г. Г. Закирзаков, М. И. Капустин / Рабочие процессы и динамика машин для разработки, уплотнения и вибрационного формирования изделий: Межвуз. сб. научн. тр. – Ярославль, 1986. – 105с.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE OSCILLATING SYSTEM "VIBRATING WORKING BODY – THE GROUND"

G. I. Shabanova, S. V. Saveliev, G. G. Buriy

This article discusses the use of a mathematical solution to describe the oscillating system "vibrating working body - the ground" when compacting soil metal drum vibratory roller. The parameters characterizing the oscillatory motion.

Шабанова Галина Ивановна - доцент кафедры "Высшая математика" Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основные направления научной деятельности - Обратные задачи математической физики. Общее количество опубликованных работ: 21. e-mail: karaseva_rb@mail.ru.

Савельев Сергей Валерьевич - кандидат технических наук, доцент кафедры "Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве" Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основные направления научной деятельности - Повышение эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов, развитие теории интенсификации уплотнения упруго-вязких сред. Общее количество опубликованных работ: 50, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru.

Бурый Григорий Геннадьевич - аспирант кафедры "Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве" Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основные направления научной деятельности - Повышение

эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов, развитие теории интенсификации уплотнения упруго-вязких сред. Общее количество опубликованных работ: 13. e-mail: coshperovsky@mail.ru.

УДК 621.86/.87

АЛГОРИТМ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ КРЮКОВОЙ ОБОЙМЫ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

В. С. Щербаков, М. С. Корытов, А. Н. Шабалин

Аннотация. Предложен алгоритм процесса управления положением крюковой обоймы грузоподъемного крана-трубоукладчика в поперечной вертикальной плоскости, образованной линией гравитационной вертикали и линией, перпендикулярной оси траншеи. Приращение угла наклона стрелы и длины грузового каната позволяют обеспечить требуемый угол отклонения грузового каната крана-трубоукладчика от вертикали в поперечной плоскости при заданных значениях координат крюковой обоймы с грузом.

Ключевые слова: кран-трубоукладчик, крюковая обойма, координаты, грузоподъемный, грузовый канат, угол отклонения каната.

Введение

Проблема обеспечения эффективной и безопасной работы колонны из нескольких грузоподъемных кранов-трубоукладчиков (КТ) как сложной динамической системы при производстве строительно-монтажных, подъемно-транспортных и сварочных работ является актуальной. При этом необходимым условием выступает исключение ситуации потери устойчивости или опрокидывания отдельного КТ в составе трубоукладочной колонны. В то же время, нескольким КТ необходимо переместить в пространстве трубу большой или условно неограниченной длины, упруго деформируя ее ограниченный участок.

То есть в процессе движения трубоукладочной колонны необходимо непрерывное решение двух задач: 1) основная – не допустить превышения опрокидывающего момента на отдельных КТ (определяемого как произведение силы, приложенной к крюку отдельного КТ со стороны трубы на текущий вылет); 2) вспомогательная – обеспечить нужное расположение грузовых канатов отдельных КТ относительно гравитационной вертикали, вызывающее требуемую для перемещения трубы упругую деформацию ее ограниченного участка [1,2].

Указанные две задачи взаимосвязаны: первая выступает в качестве ограничения при решении второй. Если первая задача решается применением ограничителей грузоподъемности

КТ, то решению второй задачи до сих пор не было уделено значительного внимания.

Машинист КТ в настоящее время визуально определяет угол наклона грузового каната, вручную осуществляет подъем и опускание стрелы, корректирует смещение грузового каната от вертикали. Процесс этот достаточно трудоемок для ручного управления. Поэтому целесообразно использование системы автоматического управления (САУ) для решения задачи коррекции угла отклонения от вертикали грузового каната КТ. Создание САУ коррекции угла каната невозможно без изучения геометрических и кинематических характеристик рабочего оборудования КТ [1].

Коррекцию угла отклонения грузового каната КТ от гравитационной вертикали в продольной вертикальной плоскости, образованной линией гравитационной вертикали и осью траншеи, целесообразно осуществлять регулировкой скорости движения КТ вдоль траншеи и изменением длины грузового каната. Коррекцию угла отклонения грузового каната КТ от гравитационной вертикали в поперечной вертикальной плоскости, образованной линией гравитационной вертикали и линией, перпендикулярной оси траншеи, необходимо реализовать по более сложному алгоритму.

Описание алгоритма процесса управления положением крюковой обоймы грузоподъемного крана

В качестве параметров управления для САУ коррекции угла отклонения грузового ка-

ната КТ от гравитационной вертикали в поперечной плоскости выступают: приращение угла наклона стрелы КТ $\Delta\alpha$ и приращение длины грузового каната ΔL_6 на грузовом барабане (до грузового полиспаста, т.е. изменение расстояния между точками E и F на расчетной схеме, рис. 1.). Были выделены 4 значимых фактора, влияющих на величину коррекции угла отклонения от вертикали грузового кана-

та КТ: начальное значение угла наклона стрелы α_n , начальное значение длины грузового каната от оголовка стрелы до геометрического центра сечения трубы (ГЦСТ) L_n , начальное значение угла отклонения грузового каната КТ от вертикали в поперечной плоскости β_n , конечное (требуемое) значение угла отклонения грузового каната КТ β_k .

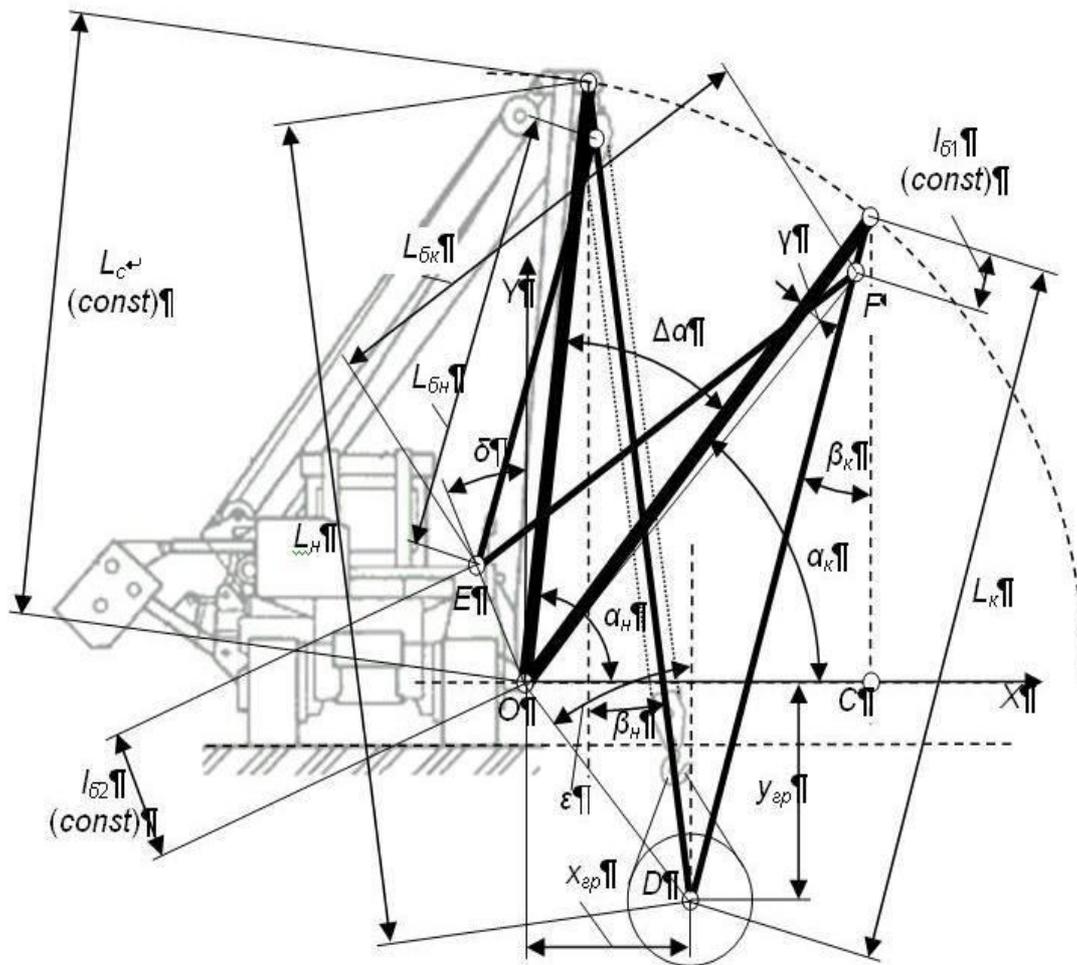


Рис. 1. Расчетная схема для определения величин $\Delta\alpha$, ΔL и ΔL_6 при коррекции угла отклонения грузового каната КТ от вертикали в поперечной плоскости

Разработана расчетная схема для определения величин $\Delta\alpha$, ΔL и ΔL_6 при коррекции угла отклонения грузового каната КТ от вертикали в поперечной плоскости (см. рис. 1.). В качестве постоянных параметров для алгоритма коррекции выступали конструктивно заданные линейные и угловые размеры: длина стрелы L_c , расстояние от оголовка стрелы до полиспаста грузового каната l_{61} , расстояние между осью вращения стрелы и бараба-

ном грузового каната l_{62} , а также угловой размер δ (см. рис. 1.).

Алгоритм коррекции заключается в последовательных вычислениях по следующим зависимостям:

Определяются декартовы координаты ГЦСТ от оси вращения стрелы КТ:

$$\begin{aligned} x_{zp} &= L_c \cdot \cos(\alpha_n) - L_n \cdot \sin(\beta_n); \\ y_{zp} &= L_c \cdot \sin(\alpha_n) - L_n \cdot \cos(\beta_n). \end{aligned} \quad (1)$$

При необходимости смещения трубы, либо в случае наличия некоторой функциональной зависимости $\beta=f(x_{эп}, y_{эп})$ произвольного вида, координаты груза $x_{эп}$ и $y_{эп}$ после этого могут быть скорректированы на произвольные величины.

Далее определяется конечное значение длины грузового каната в виде положительного значения корня квадратного уравнения:

$$OD = \sqrt{x_{эп}^2 + y_{эп}^2}; \quad \varepsilon = \arccos(-y_{эп}/OD); \quad (2)$$

$$L_k = OD \cdot \cos(\varepsilon + \beta_k) + \sqrt{OD^2(\cos^2(\varepsilon + \beta_k) - 1) + L_c^2}$$

и изменение длины грузового каната от оголовка стрелы до ГЦСТ:

$$\Delta L = L_k - L_n.$$

Затем определяется необходимое значение изменения угла наклона стрелы $\Delta\alpha$ – и результирующее значение угла наклона стрелы α_k :

$$OC = \sin(\beta_k) \cdot L_k + x_{эп}; \quad \Delta\alpha = \arccos(OC/L_c) - \alpha_n; \quad (3)$$

$$\alpha_k = \alpha_n + \Delta\alpha;$$

Для определения приращения длины грузового каната ΔL_δ на грузовом барабане КТ (до грузового полиспаста) при определенной кратности полиспаста k , необходимо располагать не только значением изменения длины каната после полиспаста ΔL , но и определить приращение геометрического расстояния EF

(см. рис. 1.), что осуществляется следующими последовательными вычислениями (нижние индексы n и k соответствуют начальным и конечным значениям размеров соответственно):

$$OF_n = \sqrt{L_c^2 + l_{б1}^2 - 2 \cdot L_c \cdot l_{б1} \cdot \cos(\pi/2 - \alpha_n + \beta_n)};$$

$$\gamma_n = \arcsin(l_{б1} \cdot \sin(\pi/2 - \alpha_n + \beta_n) / OF_n);$$

$$EF_n = \sqrt{OF_n^2 + l_{б2}^2 - 2 \cdot OF_n \cdot l_{б2} \cdot \cos(\pi/2 - \alpha_n + \gamma_n + \delta)};$$

$$OF_k = \sqrt{L_c^2 + l_{б1}^2 - 2 \cdot L_c \cdot l_{б1} \cdot \cos(\pi/2 - \alpha_k + \beta_k)}; \quad (4)$$

$$\gamma_k = \arcsin(l_{б1} \cdot \sin(\pi/2 - \alpha_k + \beta_k) / OF_k);$$

$$EF_k = \sqrt{OF_k^2 + l_{б2}^2 - 2 \cdot OF_k \cdot l_{б2} \cdot \cos(\pi/2 - \alpha_k + \gamma_k + \delta)}.$$

После этого искомое значение ΔL_δ определится как

$$\Delta L_\delta = \Delta L \cdot k - (EF_n - EF_k). \quad (5)$$

Таким образом, последовательное использование приведенных выражений позволяет получить две взаимосвязанные функциональные зависимости значений $\Delta\alpha$ и ΔL_δ от 4-х аргументов в виде уравнений геометрических связей

$$\Delta\alpha = f(\alpha_n, L_n, \beta_n, \beta_k); \quad \Delta L_\delta = f(\alpha_n, L_n, \beta_n, \beta_k). \quad (6)$$

На рис. 2...8 приведены некоторые результаты анализа функциональных зависимостей (6) и промежуточных значений, используемых при выводе $\Delta\alpha$ и ΔL_δ .

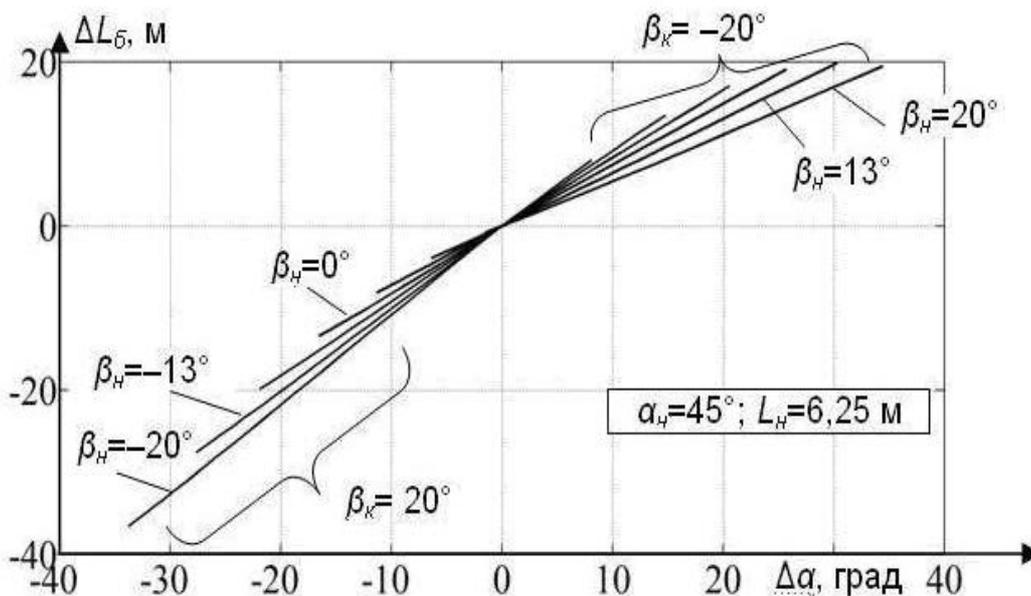


Рис. 2. Зависимость величины ΔL_δ (приращения длины грузового каната до полиспаста на барабане) от приращения угла подъема стрелы КТ при начальных значениях $\alpha_n=45^\circ$; $L_n=6,25$ м для различных сочетаний β_n и β_k в пределах $\beta_n=[-20^\circ; 20^\circ]$, $\beta_k=[-20^\circ; 20^\circ]$

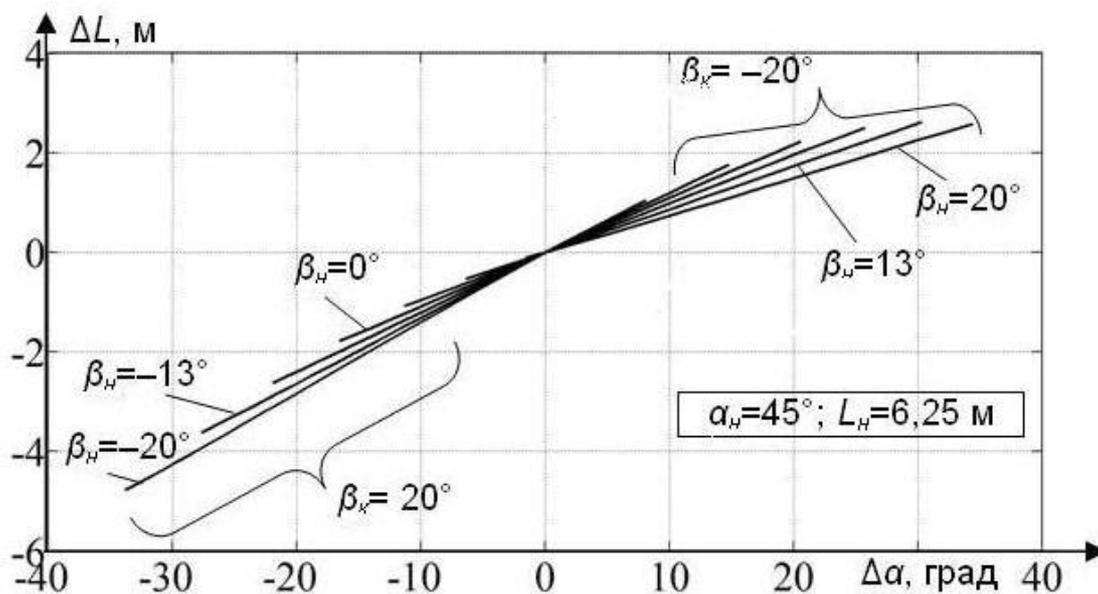


Рис. 3. Зависимость приращения длины грузового каната от оголовка стрелы до центра трубы ΔL от приращения угла подъема стрелы КТ при начальных значениях $\alpha_n=45^\circ$; $L_n=6,25$ м для различных сочетаний β_n и β_k в интервалах $\beta_n=[-20^\circ; 20^\circ]$, $\beta_k=[-20^\circ; 20^\circ]$

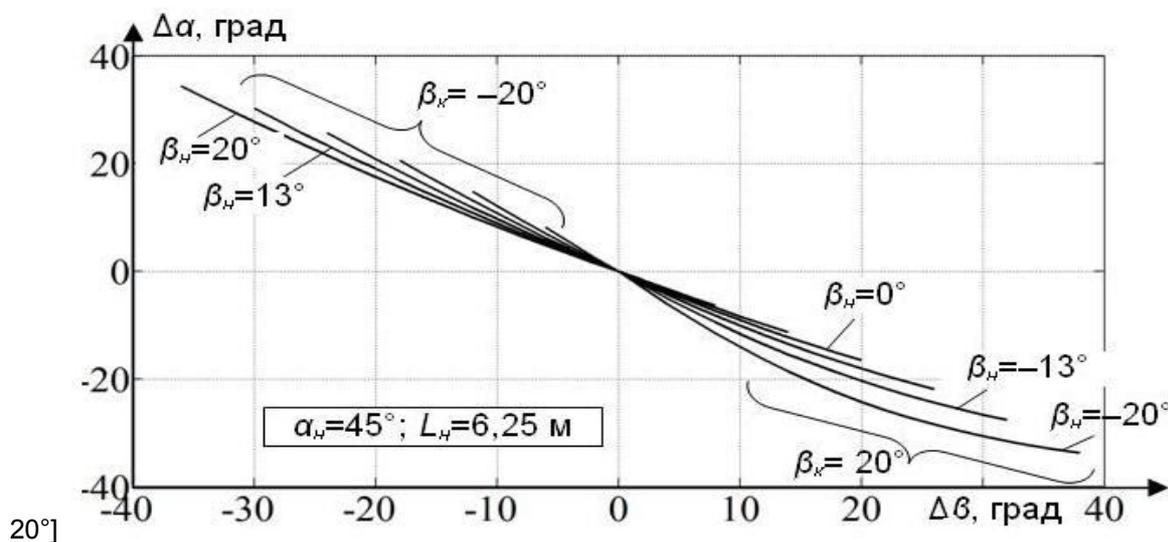


Рис. 4. Зависимость величины $\Delta\alpha$ (приращения угла наклона стрелы) от приращения угла наклона грузового каната $\Delta\beta$ при начальных значениях $\alpha_n=45^\circ$; $L_n=6,25$ м для различных значений β_n (β_k в интервале $[-20^\circ; 20^\circ]$)

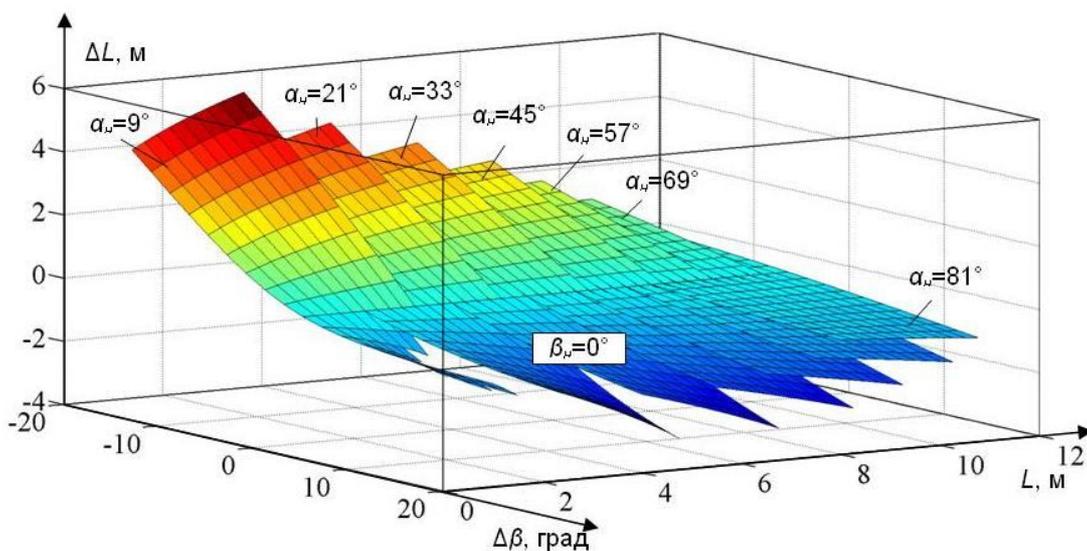


Рис. 5. Зависимость приращения длины грузового каната от оголовка стрелы до центра трубы ΔL от приращения угла $\Delta\beta$ при фиксированном начальном значении $\beta_n=0^\circ$ для различных сочетаний значений начальной и конечной длин каната L_n и L_k в интервалах $L_n=[1; 10]$ м, $L_k=[1; 10]$ м; начальном значении α_n в интервале $\alpha_n=[9^\circ; 81^\circ]$

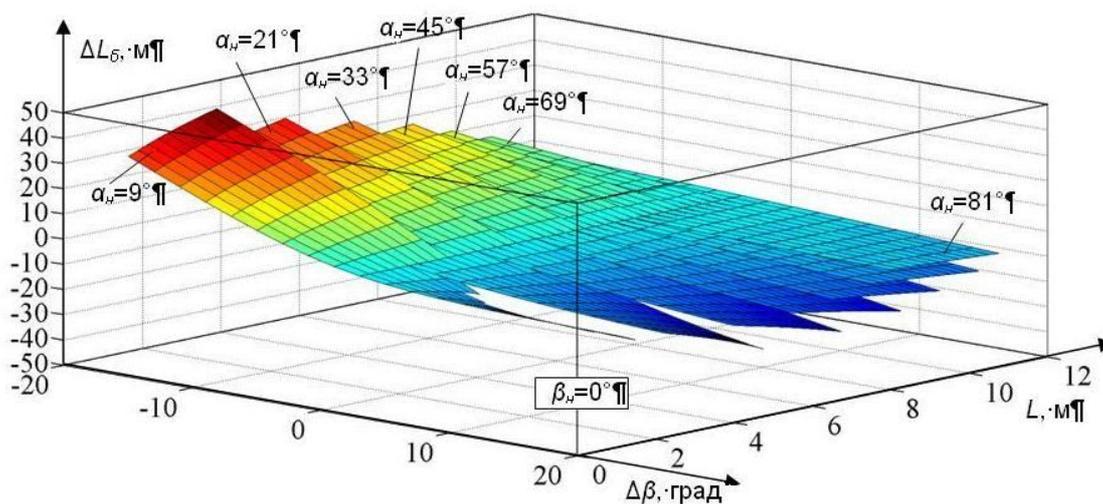


Рис. 6. Зависимость приращения длины грузового каната на барабане (до полиспаста) $\Delta L_б$ от приращения угла $\Delta\beta$ при фиксированном начальном значении $\beta_n=0^\circ$ для различных сочетаний значений начальной и конечной длин каната L_n и L_k в интервалах $L_n=[1; 10]$ м, $L_k=[1; 10]$ м; начальном значении α_n в интервале $\alpha_n=[9^\circ; 81^\circ]$

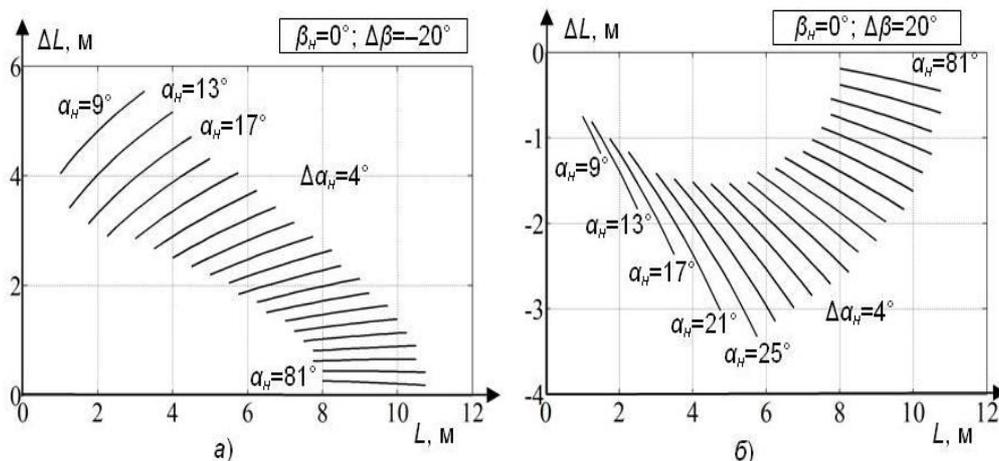


Рис. 7. Зависимости величины изменения длины канатов от оголовка стрелы до центра трубы в процессе коррекции угла наклона грузового каната для различных начальных значений угла наклона стрелы:
 а – при $\beta_k=\Delta\beta=-20^\circ$; б – при $\beta_k=\Delta\beta=20^\circ$

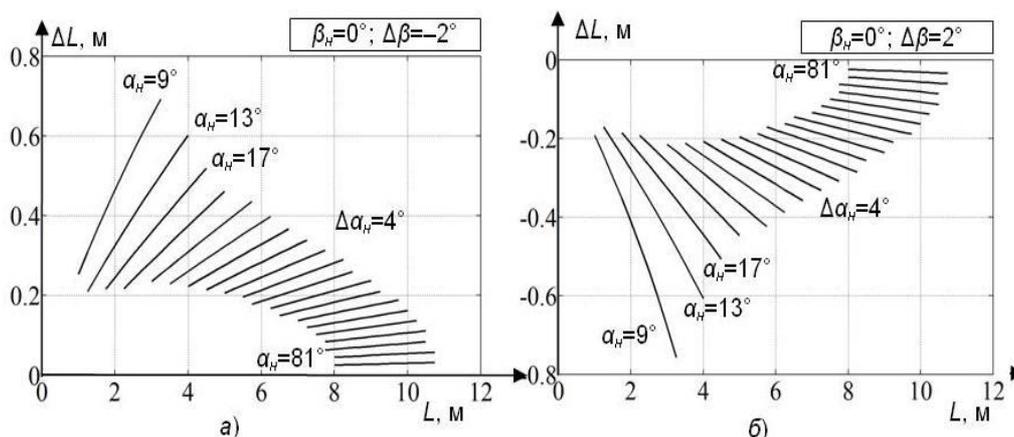


Рис. 8. Зависимости величины изменения длины канатов от оголовка стрелы до центра трубы в процессе коррекции угла наклона грузового каната для различных начальных значений угла наклона стрелы:
 а – при $\beta_k=\Delta\beta=-2^\circ$; б – при $\beta_k=\Delta\beta=2^\circ$

Заключение

Анализ полученных зависимостей позволил сформулировать следующие выводы: для реализации разработанного алгоритма коррекции угла отклонения от вертикали грузового каната крана-трубоукладчика, работающего в составе трубоукладочной колонны, необходимо применение САУ на базе бортовой вычислительной машины. Это обусловлено наличием достаточно сложных нелинейных зависимостей и переменных ограничений. В состав указанной подсистемы САУ необходимо включить следующие датчики первичной измерительной информации: датчик угла α наклона стрелы КТ, датчик

угла β отклонения грузового каната КТ от вертикали в поперечной плоскости, датчик длины грузового каната на барабане (до полиспада) L_6 . Последний датчик первичной информации может быть исключен из подсистемы САУ путем использования в алгоритме некоторого постоянного значения длины L , однако это приведет к систематическому накоплению погрешности угла β на каждом шаге коррекции, что иллюстрируют рис. 7. и 8. То есть нецелесообразно исключение 3-го первичного информационного параметра из рассмотрения, чему препятствует также переменный характер ограничений, накладываемых на значение L (см. рис. 7., 8.).

Библиографический список

1. Голдобина, Л. А. Теоретическое обоснование снижения раскачивания груза на канате строительного крана / Л. А. Голдобина, А. Н. Власов, А. Л. Бочков // Техничко-технологические проблемы сервиса. – Санкт-Петербург: Санкт Петербургский государственный университет сервиса и экономики. – №16. – 2011. – С. 52-60.

**ALGORITHM OF MANAGEMENT POSITION
HOOKBLOCKS HOISTING CRANES**

V. S. Shcherbakov, M. S. Korytov,
A. N. Shabalin

An algorithm for the management position the pipelay crane hook block in the transverse vertical plane defined by the gravitational vertical line and a line perpendicular to the trench. Increments of boom angle and length of hoist rope provides the required deflection angle load rope crane pipelay from the vertical transverse plane for given values of the coordinates with a cargo hook block.

Щербakov Виталий Сергеевич – д.т.н., профессор, декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника» Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основное направление научных исследований – совершенствование систем управления строительных и дорожных машин, общее количество публикаций – более 200, адрес электронной почты – sherbakov_vs@sibadi.org.

Корытов Михаил Сергеевич – к.т.н., доцент Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основное направление научных исследований – автоматизация рабочих процессов мобильных грузоподъемных машин, общее количество публикаций – более 90, адрес электронной почты – kms142@mail.ru.

Шабалин Андрей – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основное направление научных исследований – автоматизация рабочих процессов строительных и дорожных машин, общее количество публикаций – 6, адрес электронной почты – andrei-shabalin@mail.ru.

РАЗДЕЛ IV

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК: 338.35

ДИНАМИКА КОНКУРЕНЦИИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

В. В. Карпов, С. В. Кондратюков

Аннотация. В статье представлены авторские взгляды на динамику конкурентной борьбы организаций, которая обуславливает характер изменения параметров благ в соответствии с запросами потребителей. Рассмотрены различные модели конкуренции с определением позиции товаров и организаций-производителей в длительном периоде хозяйствования для достижения их конкурентоспособности.

Ключевые слова: конкуренция, динамика процессов, конкурентоспособность, параметры благ, потребители.

Введение

Основой или движущей силой экономических отношений выступает конкуренция. Как отмечал академик Л. Абалкин: «Государство должно признать, что если и существует «секрет» рыночной экономики, то он состоит не в частной собственности, а в конкуренции. Конкуренция это то, что заставляет рыночную экономику работать» [4, с.28]. При этом выделяют три подхода к определению конкуренции как к отправной точке рассмотрения конкурентоспособности объектов [7, с.196]: конкуренция как состязательность на рынке; конкуренция как элемент рыночного механизма; конкуренция как критерий, по которому определяется тип отраслевого рынка. В условиях нестабильной экономики и формирования конкурентных рынков, новые подходы к анализу динамики конкуренции позволят объективно оценить конкурентоспособность товаров и услуг, как со стороны потребителей, так и со стороны производителей.

Основная часть

Учитывая важность защиты конкуренции в переходной экономике России, в которой доминирующее положение большинства организаций диктует низкое качество и высокие цены товаров и услуг, игнорирование требований большинства потребителей, современное законодательство на пороге реформ определило понятие конкуренции [2, с.4]: «Конкуренция – состязательность хозяйствующих субъектов, когда их самостоятельные действия эффективно ограничивают возможность каждого из них односторонне воздействовать на общие условия обращения товаров на соответствующем рынке».

В более позднем нормативном документе уточнено определение конкуренции [3, с.4]: «Конкуренция – соперничество хозяйствующих субъектов, при котором самостоятельные действия каждого из них исключают или ограничивают возможность в одностороннем порядке воздействовать на общие условия обращения товаров на соответствующем рынке».

Правовой предпосылкой для конкуренции служит свобода экономической деятельности, гарантируемая в Конституции России, в Гражданском Кодексе и антимонопольном законодательстве. Так, согласно ст. 8 Конституции РФ, в нашей стране гарантируется поддержка конкуренции [1].

В литературе отмечается: «О преимуществах и недостатках моделей конкуренции необходимо судить в первую очередь с точки зрения конкретного исторического этапа развития рыночных отношений, экономических особенностей рынка и опыта конкуренции. Несмотря на то, что скорая подготовка «Закона о конкуренции» и быстрое изменение рыночной ситуации на федеральном и региональном рынках объективно привели к тому, что часть его положений уже устарела, была создана нормативная база развития конкурентных отношений» [5, с.33].

«Вместе с тем, конкуренция объективно вынуждает повышать качество и эффективность управленческого решения. Поэтому в настоящее время наблюдается тенденция к увеличению числа учитываемых условий повышения качества и эффективности решений на основе автоматизации системы менеджмента» [9, с.20].

На первое место ставится рыночное положение, определяемое потенциалом рынка и деятельностью конкурентов. Причем, достижение доминирующего положения не жела-

тельно из-за недостатков монополии (прекращение инновационной деятельности, снижение качества продукции, рост цен).

Интересна на наш взгляд позиция Р. Фатхутдинова [8, 9], что конкуренция представляет собой объективный процесс управления хозяйствующими субъектами своими конкурентными преимуществами, которые имеют специфику для каждой организации на отраслевом рынке.

А. Смит трактовал конкуренцию как поведенческую категорию, когда индивидуальные продавцы и покупатели конкурируют друг с другом за более выгодные продажи и покупки соответственно. При этом конкуренция как «невидимая рука» рынка координирует деятельность его участников, не требуя вмешательства государства. Он определил условия, при выполнении которых частное предприятие действительно полезно обществу: наличие личной выгоды предпринимателя; наличие конкуренции между предпринимателями, которая держит их в определенных условиях [7, с.21].

В работах А. Маршала прослеживаются в обобщенном виде два подхода к пониманию конкуренции: результат и процесс [7, с.196].

Трактовка конкуренции Ф. Хайеком прямо указывает на ее специфику как процедуры

открытия новых возможностей использования существующих (доступных) ресурсов, а также поиск совершенно новых.

Й. Шумпетер считал, что эффективная конкуренция возможна лишь в условиях динамичной экономики, формируемой непрерывным потоком нововведений. Он разработал концепцию «предпринимательской фирмы» - особого экономического агента, конкурирующего посредством внедрения новых товаров, технологий, источников сырья, новых типов организации. Цель фирмы – поиск стратегического преимущества на основе продуктовых и иных инноваций [7, с.224].

Именно с изучения конкурентного взаимодействия берет свое начало теория и практика конкурентоспособности, которая на современном этапе развития общества призвана способствовать более полному удовлетворению возрастающих потребностей в условиях нестабильной экономики и дефицита ресурсов [10, с.115].

В развитие теории конкурентного взаимодействия, авторами статьи разработана параметрическая модель конкурентной борьбы между организациями (рис.1.).

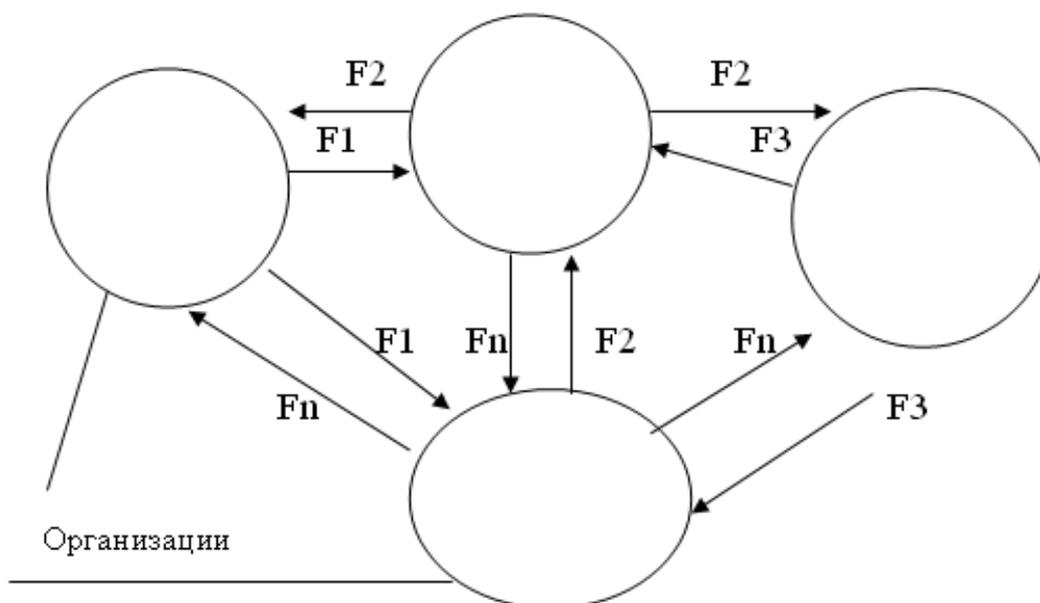


Рис. 1. Параметрическая модель конкурентной борьбы

Процесс конкурентного взаимодействия субъектов между собой по завоеванию рынка, предлагается рассматривать как цепи сил: $F_1, F_2 \dots F_n$, которые можно представить выражением (1):

$$F = \frac{\text{Качественные параметры благ (Кп)}}{\text{Тарифные параметры благ (Тп)}} \quad (1)$$

Интенсивность конкуренции, будет зависеть от условий:

$$F (\text{лидера}) > F_1, F_2 F_n \quad (2)$$

Очевидно из выражения (1), чем выше качественные параметры предоставляемых на рынок благ и ниже их тарифные, тем сильнее имеет место соперничество за потребителя, которое выражается в объемах продаж и обобщенно в конкурентоспособности.

Удовлетворение потребностей происходит полнее, когда выполняется неравенство (2) для организации-лидера, предлагающей на продажу более качественные товары при снижении цен. При отсутствии интенсивной конкуренции очевидна ситуация застоя на рынке, когда производители не стремятся к повышению качества товаров и снижению издержек (пример монополии).

Выражение (1), как модель первого уровня, объединяет воедино (силой F) ценовую и качественную составляющие конкуренции, допуская, что все множество факторов, влияющих на указанные параметры товара, заведомо включены в них. Что не противоречит концепции М. Портера, выделяющего основной силой конкуренции – соперничество между конкурирующими продавцами одной отрасли, когда в центре борьбы находятся фирмы, продающие варианты одного и того же товара или услуги [6, с.93].

Таким образом, мы рассмотрим только продуктовую составляющую силы конкуренции, непосредственно влияющую на конкурентоспособность благ и их производителей. Такое допущение возможно, если предположить, что другие силы конкуренции М. Портера: способность поставщиков торговаться; угроза появления новых конкурентов; угроза появления товаров-заменителей и способность покупателей торговаться – объективно входят в результаты производства и реализации, а именно проявляются в виде конкретных параметров благ, составляющих на рынке их конкурентоспособность.

Только потребитель, реально совершивший покупку, становится главным стимулом и элементом рыночной конкуренции между про-

давцами, непосредственно определяет в итоге интенсивность борьбы и заинтересован получить максимальное удовлетворение потребностей при минимуме затрат, оценивает качество и цену товара, не вдаваясь в особенности производства.

Преобладающий статичный подход к описанию сложившейся картины рынка не позволяет объективно оценивать процессы конкурентной борьбы в динамике, когда именно фактор времени определяет тип и интенсивность соперничества однородных субъектов, особенно в период нестабильной экономики, когда рыночная конъюнктура определяет тип и характер взаимоотношений субъектов, влияет на процессы достижения конкурентоспособности.

Не случайно, Й. Шумпетер выделял динамическую конкуренцию, основанную на снижении издержек производства и повышении качества продукции, как эффективную конкуренцию.

Во всех приведенных подходах к пониманию и оценке конкуренции отсутствуют ее конкретные динамические характеристики, которые на наш взгляд в современной экономике являются главными показателями типа отраслевых рынков и специфики реальной борьбы организаций за условия хозяйствования.

Введение временной зависимости как определяющего аргумента функции конкуренции позволит моделировать сложные процессы для их анализа и управления, предпочтительно в длительном периоде хозяйствования.

Определяющими факторами в конкурентной борьбе выступают непосредственно товары и услуги, которые при реализации формируют рынки, а затем и конкурентоспособность организаций-производителей.

Поэтому для начала определим динамику изменения силы конкурентного взаимодействия организаций на рынке с учетом динамики параметров благ следующим образом:

$$F(t) = \frac{Kп(t)}{Тп(t)} \quad (3)$$

Формула (3) придает показателям динамический характер с временным аргументом – t . Очевидно, что для успешного завоевания рынка потребителей организации необходимо в процессе производства благ внедрять мероприятия по улучшению потребительских свойств товара при параллельном снижении издержек, и этот временной период станет одним из факторов достижения конкурентоспособности (чем он короче, тем быстрее фирма займет лидирующее положение).

Для дальнейшего моделирования динамического процесса конкуренции разработаем таблицу (матрицу) возможных состояний ор-

ганизаций-производителей по параметрам реализуемых благ в длительном периоде хозяйствования (табл.1).

Таблица 1 - Матрица возможных состояний организаций-производителей

№ состояния	Направления изменения параметров благ во времени: Кп(t) (качество), Тп(t) (цена)		Оценка состояния организации	Анализ силы конкуренции F(t) на рынке
	Кп ↑	Тп ↓		
1	Кп ↑	Тп ↓	Организация работает эффективно, стабильно снижая издержки и повышая качество продукции	Сила конкуренции растет, создаются предпосылки для повышения конкурентоспособности товара и организации
2	Кп ↑	Тп ↑	Организация работает относительно неэффективно, увеличивая издержки и тем самым повышая качество продукции	Сила конкуренции неизменна или не определена, есть некоторые предпосылки для повышения конкурентоспособности товара и организации
3	Кп ↓	Тп ↑	Организация работает абсолютно неэффективно, увеличивая издержки и снижая (или не обеспечивая) качество продукции	Сила конкуренции снижается, отсутствуют предпосылки для повышения конкурентоспособности товара и организации
4	Кп ↓	Тп ↓	Организация работает неэффективно, снижая издержки и качество продукции, ориентируется на производство товаров Гиффена для потребителей с низкими доходами	Сила конкуренции неизменна, имеются предпосылки для формирования конкурентоспособности товара и организации на определенных сегментах рынка для узкой группы потребителей
5	Кп →	Тп →	Организация работает неэффективно, но стабильно во времени, сохраняя издержки и качество продукции, на достигнутом уровне для определенных потребителей своей продукции	Сила конкуренции неизменна, имеются предпосылки для формирования конкурентоспособности товара и организации на определенных сегментах рынка

Проведем анализ представленных ситуаций с динамикой параметров благ и сил конкуренции:

Ситуация № 1 описывает такую модель производства благ, которая способна вывести организацию на лидирующие позиции по объему продаж, при условии обеспечения одновременности процессов повышения качества (улучшения потребительских свойств) и снижения себестоимости продукта (рыночной цены).

Не останавливаясь в данной статье на конкретных способах ведения такого типа хозяйства, следует подчеркнуть присутствие в данной модели (4) традиционного противоречия для большинства экономических отношений:

$$F(t) \uparrow = \frac{K_p(t) \uparrow}{T_p(t) \uparrow} \quad (4)$$

Так, достаточно сложно повышать качественные параметры изделия, одновременно снижая его себестоимость.

В данном примере мы допускаем внедрение таких производственных инноваций со стороны организации, о которых упоминал еще Й. Шумпетер, выделяя свойство конкурентной динамики.

В длительном периоде хозяйствования возможна следующая интерпретация данной модели:

На рис. 2. изображена зависимость качественных и ценовых параметров товара в процессе его производства во времени. Период времени ($t_0 - t_1$) является временем переходного процесса, когда организация начинает внедрение инноваций по повышению качества товара при опережающем росте издержек, после времени t_1 – достигается устойчивое состояние требуемого равенства (4).

Очевидно, если время $t_1 \rightarrow t_0$, тем быстрее организация достигнет целевого состояния в условиях конкурентного рынка.

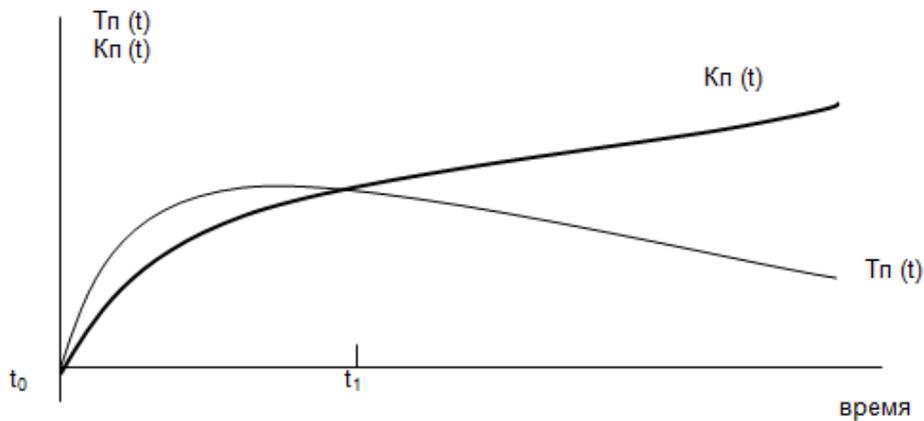


Рис. 2. Графическая модель ситуации № 1

Ситуация № 2 отражает модель организации такого производства, когда повышение качества изделия со временем влечет и рост издержек производства (5). При этом сила конкуренции по указанным параметрам либо неизменна во времени, либо не определена.

$$F(t) = \frac{K_p(t) \uparrow}{T_p(t) \uparrow} \quad (5)$$

В таком случае возможна следующая комбинация динамических моделей (рис. 3.).

На рис. 3. представлена динамика ценовых параметров продукта $T_p(t)^*$ и $T_p(t)^{**}$ отражающая степень возрастания издержек производства при повышении качества. Очевидно, что при пропорциональном росте качественных характеристик и цены товара (функция - $T_p(t)^*$), сила конкуренции неизменна $F(t) \rightarrow$.

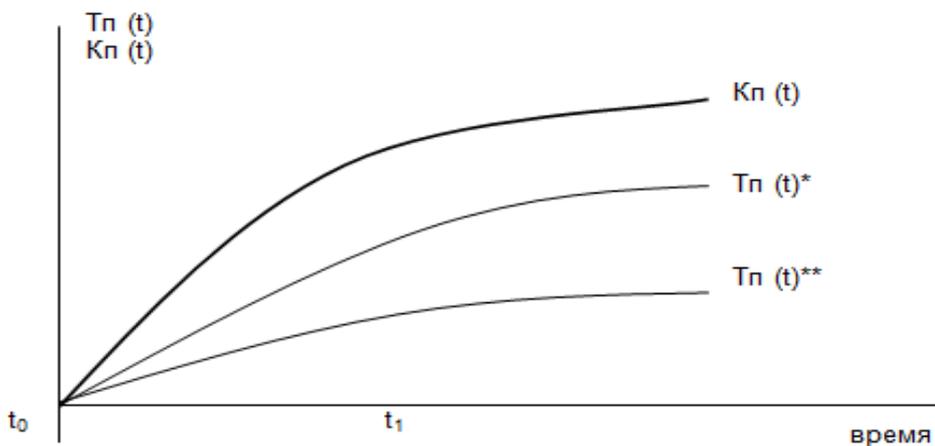


Рис. 3. Графическая модель ситуации № 2

Если ценовые параметры имеют тенденцию к росту замедленного типа (на графике функция - $T_p(t)^{**}$), когда организация внедряет инновации не допуская интенсивный рост затрат, то сила конкуренции по заданным параметрам увеличивается $F(t) \uparrow$.

Это возможно при обеспечении высоких качественных параметров товаров по оценке потребителей, что способствует достижению конкурентоспособности организации в длительном периоде хозяйствования среди конкурентов, имеющих ценовые функции, аналогичные $T_p(t)^*$.

Данное предположение основано на анализе представленных функций $K_p(t)$ и $T_p(t)$ относительно динамики их изменения во времени.

Если модель (5) имеет более сложную интерпретацию, чем на рис. 3., то сила конкуренции $F(t)$ однозначно не определяется.

Ситуация № 3 определяет такой тип неэффективного с точки зрения конкурентного рынка производства, когда с течением времени снижается качество изделий и растет их цена.

При этом сила конкуренции по данному продукту примет вид:

$$F(t) \downarrow = \frac{K_p(t) \downarrow}{T_p(t) \uparrow} \quad (6)$$

Такая модель производства не обеспечит в перспективе конкурентоспособность продукции и организации при наличии в отрасли более эффективных по продуктовому критерию предприятий.

Ситуация характерна для казенных предприятий, когда госзаказ позволяет финансировать производство, не способное удовлетворять в полном объеме потребности, либо выполняющее специальные функции, когда качество и цена не являются определяющими факторами (наличие монополии, пример военно-промышленного комплекса).

Ситуация № 4 моделирует производство, ориентированное на определенный сегмент рынка, на котором присутствуют потребители с низкими доходами и предъявляющими высокие требования к качественным параметрам благ.

Предприятия такой направленности способны удержать рынок своего присутствия, ориентируясь на товары первой необходимости, входящие в группу Гиффена.

Если качественные параметры благ снижаются со временем не так интенсивно как цены, возможно достижение конкурентоспособности товаров и организации в длитель-

ном периоде хозяйствования при целевом ориентировании на выбранный кластер потребностей.

При опережении падения качества по сравнению с ценой вероятно резкое снижение объемов продаж и уход с рынка в пользу других организаций, имеющих более благоприятные временные характеристики благ.

Такая ситуация проявилась с приходом китайских товаров в Россию в начале 90-ых годов XX столетия, когда дефицит товаров первой необходимости (одежда, обувь, продукты) был компенсирован импортом больших объемов недорогих и некачественных благ для удовлетворения потребностей большинства населения с низкими доходами.

Ситуация № 5 характеризует производство со стабильной продуктовой стратегией. Обычно такая организация является монополистом, когда на рынке отсутствуют реальные конкуренты по определенным товарным группам.

При этом нет стимулов добиваться изменения параметров благ, которые не имеют аналогов и товаров-заменителей.

Осуществляя производство со стабильным качеством и издержками во времени, предприятие способно занимать определенную рыночную нишу, особенно для традиционного круга потребителей, предпочитающих известную торговую марку.

Заключение

Как показали исследования, наблюдается неразрывная зависимость между интенсивностью (динамикой) конкуренции на рынке с процессами обеспечения конкурентоспособности благ и организаций-конкурентов. При этом основные характеристики продукта (качественные и ценовые параметры) должны изменяться во времени в определенном направлении, чтобы удовлетворить потребителя и сформировать конкурентоспособность организации-продавца (производителя) в длительном периоде хозяйствования. Чем динамичней конкурентная борьба на отраслевом рынке, тем точнее необходимо позиционировать продукты путем формирования их параметров в соответствии с запросами покупателей.

Библиографический список

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г.) (действующая редакция).
2. Закон РСФСР от 22 марта 1991 г. № 948-1 «О конкуренции и ограничении монополистической деятельности на товарных рынках» (действующая редакция).

3. Федеральный закон от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции» (действующая редакция).

4. Абалкин Л. И. Смена тысячелетий и социальные альтернативы // Вопросы экономики. - 2000. - №12. - С. 27-40.

5. Азоев Г. Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика. - М.: Центр экономики и маркетинга, 1996. - 208 с.

6. Кныш М. И. Конкурентные стратегии: учебное пособие. - СПб.: Любавич, 2000. - 284 с.

7. Крутиков В. К., Смолянский С. В. Предпринимательство и трансформация общества: Анализ отечественного и зарубежного опыта. - М.: Изд-во Ноосфера, 2005. - 352 с.

8. Фатхутдинов Р. А. Управление конкурентоспособностью организаций. Учебное пособие / Р. А. Фатхутдинов. - М.: Изд-во Эксмо, 2004. - 544 с.

9. Фатхутдинов Р. А. Управленческие решения: Учебник. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2004. - 314 с.

10. Карпов В. В., Карсюк Е. Н. Моделирование процесса формирования ассортимента предпринимательской структуры // Вестник СибАДИ. - 2012. - №6 (28). - С.115-121.

DYNAMICS OF THE COMPETITION AND COMPETITIVENESS

V. V. Karpov, S. V. Kondratyukov

Author's views of dynamics of competitive fight of the organizations which causes nature of change of parameters of the benefits according to inquiries of consumers are presented in article. Various models of the competition to definition of a position of goods and the manufacturing organizations in the long period of managing for achievement of their competitiveness are considered.

Карпов Валерий Васильевич – д.э.н., профессор, директор Омского филиала ФГБОУ ВПО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», заведующий Омской экономической лабораторией «Институт экономики и организации промышленного производства» СО РАН. Направление научных исследований: Научные основы региональной политики, экономика предприятий и предпринимательская деятельность. Общее количество публикаций: 126. e-mail: oelab@mail.ru

Кондратюков Сергей Владимирович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической теории и финансового права Омской академии МВД России. Направление научных исследований: теория и практика конкуренции, управление конкурентоспособностью экономических систем, экономико-математическое моделирование процессов и объектов. Общее количество публикаций: 50. e-mail: ksv-omsk@mail.ru

УДК 330.33

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ И НАПРАВЛЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЙТИНГОВ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

М. С. Попов

Аннотация: Оценка качественных характеристик процесса развития представляет собой сложный многовариантный процесс, применение результатов которого позволяет значительно повысить эффективность стратегического управления предприятием. В статье приведён алгоритм, применение которого позволит охарактеризовать интенсивность и направленность динамики развития, на основе сопоставления рейтингов рентабельности и конкурентоспособности.

Ключевые слова: конкурентоспособность, эффективность, развитие, предприятие, рейтинг, методика.

Введение

Развитие – это движение вперёд, формирование новых черт, становление новых структурных характеристик объекта. Оно представляет собой направленные, качественные изменения предприятия, как экономи-

ческой системы [1]. Применительно к предприятию развитие означает устойчивые изменения направления его деятельности, выполняемых функций, структуры организации, уровня эффективности и качества деятельности организации [6].

Сложность проблемы оценки экономического развития предприятия с одной стороны, заключается в многогранности и полифоничности самого этого понятия, предполагающего, следующий словесный ряд: развитие, увеличение, рост, улучшение, жизнь, процветание, устойчивая жизнеспособность. Каждое из этих понятий необходимо осознать, определить характеризующие критерии, разработать способы их оценки, доступные и понятные на каждом уровне хозяйствования. С другой, применение существующих методик диагностики интенсивности развития предприятия предполагая оценку количественной динамики основных показателей, не позволяет выделить качественные изменения состояния предприятия, как экономической системы.

Основная часть

В представленной статье автором принята попытка представить процесс развития предприятия, как изменение финансового состояния и привлекательности производимого продукта, с интенсивностью, определяемой уровнем инвестиционного потенциала. Схематично данный процесс приведён на рисунке 1. В схеме используются следующие сокращения: *RSP* – локальный рейтинг, по критерию «платёжеспособность предприятия», *RP* – локальный рейтинг, по критерию «эффективность деятельности предприятия», *TIP* – совокупный объём инвестиционного потенциала предприятия, *RCS* – локальный рейтинг, по критерию «привлекательность продукта». Детальное описание их сущности и алгоритм расчёта, автор статьи изложил в своих предшествующих публикациях [3, 4, 5].

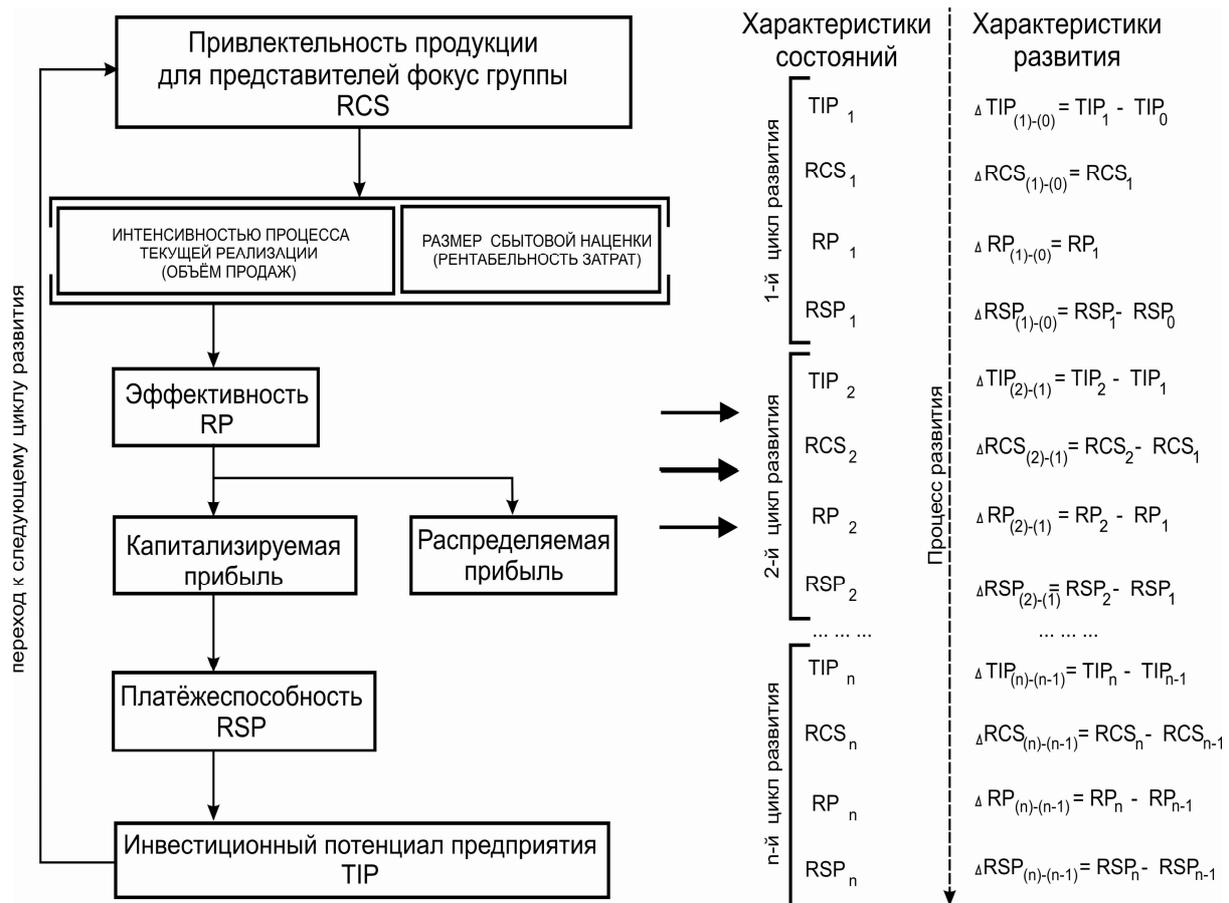


Рис. 1. Процесс развития предприятия

На рисунке представлено графическое описание последовательности, характерной для формирования цикла развития предприятия. Структурно этот процесс можно представить следующим образом:

1. Создание ресурсной базы (ТIP), в состоянии обеспечить реализацию комплекса действий, нацеленных на обеспечение привлекательности продукции предприятия. Она, в свою очередь, охарактеризует размер объёмов реализации, определив объёмы формируемого экономического эффекта (RP).

2. Особенности политики распределения прибыли, обуславливают размер прироста нераспределенной прибыли предприятия, что определит изменения характера финансового состояния компании.

3. Новой характеристике финансового состояния предприятия соответствует другой уровень инвестиционного потенциала, величина которого определит перспективы изменения привлекательности продукции.

Надо отметить, что развитие предприятия, в ряде случаев, может носить негативный характер. Так как при недостаточной проработке программы мероприятий, результатом их реализации может стать либо прямой убыток, либо недопустимо длительный период окупаемости вложенных средств. Для оценки тенденций развития предприятия, предложена шкала сравнения, в основу которой положены данные об изменении эффективности деятельности предприятия и привлекательности производимого продукта для представителя целевой аудитории.

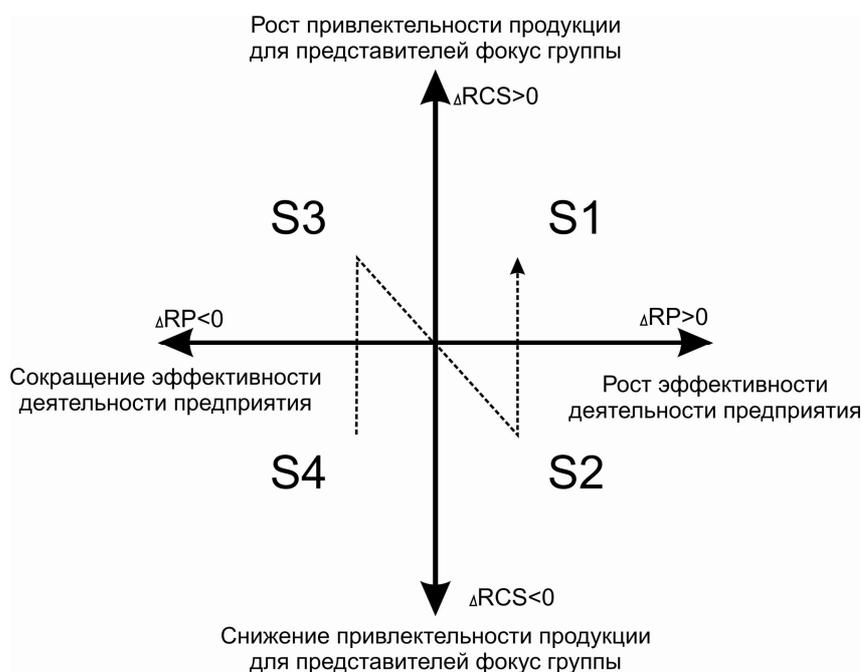


Рис. 2. Шкала сравнения тенденций развития предприятия на основе сопоставления показателей RP и RCS

В соответствии с предложенной градацией по данным двум признакам, можно выделить четыре типа развития:

S1 – за период зафиксирован прирост эффективности деятельности предприятия, который определила правильная расстановка приоритетов при распределении инвестиционного потенциала, за счёт которого был обеспечен рост привлекательности производимого продукта для представителей фокус-группы. Данные изменения имеют самый высокий рейтинг, так как присутствуют все признаки положительной динамики.

S2 – зафиксированный за период рост эффективности текущей деятельности предприятия, основывается на реализации стратегии «снятия сливок» [2], когда используя инертность спроса производитель снижает привлекательность предложения, стимулируя рост прибыли. Необходимо заметить, что продолжительность данной тенденцией достаточно ограничена и может привести к потере части рынка, что определит снижение эффективности и переход к состоянию S4.

S3 – данная динамика, несмотря на рост привлекательности предложения, не может

быть названа результативной, из-за сопутствующего снижения эффективности. Основной причиной данной тенденции могут являться:

- ошибки при принятии решения о выборе целевой аудитории, размер которой не в состоянии обеспечить компании эффективное функционирование;

- сильная конкуренция в структуре выбранного рыночного сегмента. В данной ситуации необходимо оценить достаточность инвестиционных ресурсов для дальнейшего повышения привлекательности предложения, с целью захвата рыночного сегмента, размеры которого позволят обеспечить формирование положительного финансового результата и нейтрализовать негативную тенденцию падения эффективности;

- макроэкономические кризисные тенденции, определившие «сжатие» целевого сегмента. Для разрешения данной ситуации необходимо прогнозирование особенностей ситуации и продолжительности периода дефицита спроса. Если спад имеет кратковременный характер, то по его окончанию, в случае достаточности стабилизационных резервов, компания имеет потенциал перехода к стабильной динамике развития S1. В случае продолжительности периода стагнации рынка, необходимо для стабилизации развития пересмотреть структуру клиентов состава фокус-группы.

- S4 – ситуация, когда снижение привлекательности продукции негативно сказывается на эффективности деятельности предприятия. В качестве причин такой динамики можно определить:

- дефицит средств инвестиционного потенциала для эффективной конкуренции в выбранном рыночном сегменте;

- появление на рынке сильного конкурента, что изменило взгляды потребителя на особенности привлекательного предложения.

- неправильный выбор стратегии рыночного позиционирования;

- низкая эффективность мероприятий нацеленных на реализацию процесса продвижения продукции на рынок.

В данной ситуации, компании при недостаточности инвестиционных ресурсов, для изменения привлекательности предложения необходимо рассмотреть варианты смены целевого сегмента.

Выводы

Предложенная шкала позволяет произвести градацию динамики развития по двум критериям «привлекательность предложения продукции» и «эффективность текущей деятельности». В отличие от большинства суще-

ствующих подходов, применение данной методики позволяет оценить не только количественное изменение основных показателей, но и выявить момент качественного перехода от одного состояния функционирования экономической системы к другому, то есть отследить направленность и интенсивность развития предприятия.

Библиографический список

1. Дюков И. В. Стратегия развития бизнеса. Практический подход – СПб.: Питер, 2012. – 240 с.
2. Гончарук В. А. Внедрение изменений на предприятии. – М.: Экономикс, 2009 – 460 с.
3. Попов М. С. Методика рейтинговой оценки конкурентоспособности продукции предприятия // Вестник СибАДИ. – 2012. - №6 (28). – С. 148-150.
4. Попов М. С. Инвестиционный потенциал, как фактор, определяющий интенсивность развития производственно-предпринимательских структур // «Научная дискуссия: вопросы экономики и управления. Материалы III международной научно-практической конференции, научного . – 2012. - №2. – С. 6-11.
5. Попов М. С. Применение показателей финансового состояния при анализе тенденций развития производственно-предпринимательских структур // Экономика и предпринимательство. – 2012. - №5. – С. 323-327.
6. Шигаев А. И. Контроллинг стратегии развития предприятия. – М.: Юнити-Дана, 2008. – 380 с.

THE VALUATION OF THE ENTERPRISE DEVELOPMENT INTENSITY AND TREND BASED ON THE COMPARISON OF THE RATING DYNAMICS OF PROFITABILITY AND COMPETITIVENESS

M. S. Popov

Evaluation of qualitative characteristics of the enterprise development process is a complex multivariate process, the application of the results of which can significantly increase the effectiveness of the strategic management. The research work presents an algorithm, which characterizes the enterprise development process intensity and trend based on the comparison of the rating dynamics of profitability and competitiveness.

Попов Максим Сергеевич - кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления недвижимостью Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). Основные направления научной деятельности – Экономика, организация и управление предприятиями промышленности. Общее количество опубликованных работ: 15. e-mail: dreamweaver@list.ru.

УДК 334.723:658.567.1

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЦИКЛИНГА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ЧАСТНО-ГОСУДАРСТВЕННОГО ПАРТНЕРСТВА

И. А. Эйхлер

Аннотация. Предложен путь решения проблемы накапливающихся автотранспортных отходов на примере организации центра по переработке изношенных покрышек с помощью применения механизмов частно-государственного партнерства. Определены основные принципы организации взаимодействия между центром, поставщиками ресурсов и потребителями.

Ключевые слова: интеграционное взаимодействие, механизмы частно-государственного партнерства, рециклинг, отходы автотранспортного сектора, частно-государственное партнерство.

Введение

При модернизации экономики России необходимо решать задачи, связанные с обновлением инженерной инфраструктуры, функционированием жилищно-коммунального хозяйства, развитием территорий, реализация которых не может быть осуществлена только за счет государственных бюджетов. В связи с этим особую актуальность сегодня приобретает взаимодействие государственного и частного секторов при решении социально-экономических задач развития региона или муниципального образования. [1] Одной из таких проблем, в последнее время, становится проблема утилизации отходов образуемых автотранспортным комплексом. В 2012 году на территории Омской области зарегистрировано 587 074 транспортных средств (без учета мототранспортных средств, прицепов и полуприцепов) различных марок (по данным управления государственного автодорожного надзора по Омской области). За последние годы наблюдается тенденция устойчивого роста данного показателя: так с 2010 года количество транспортных средств увеличилась на 12,75 процентов. Если учитывать, что одно транспортное средство в среднем образует до 50 тонн отходов в год (20 миллионов тонн в целом по городу), то необходимо решить следующую проблему: как максимально эффективно (с наименьшими экономическими затратами и наибольшим экологическим эффектом) утилизировать такой объем отходов. [2] Имеющихся мощностей и механизмов для полной и экологически-эффективной утилизации данных отходов сейчас нет.

Основная часть

Для решения вышеописанной проблемы предлагается прибегнуть к реализации механизмов частно-государственного партнерства.

Для их реализации необходимо ответить на следующие вопросы:

- 1) какая форма частно-государственного партнерства будет наиболее эффективна в данном сегменте;
- 2) каким методам утилизации необходимо отдавать наибольшее предпочтение;
- 3) какой эффект принесет реализация данного партнерства. [3]

Сначала необходимо выделить тот сегмент, где будут реализовываться механизмы частно-государственного партнерства, определить методы утилизации, которым будут отдаваться предпочтения. В научной литературе все отходы автотранспортного комплекса классифицируются на два типа: твердые (к ним относятся вышедшие из строя АТС, изношенные покрышки и т.д.) и жидкие (отработанные нефтепродукты). [4] На сегодняшний день на федеральном уровне большое внимание уделяется проблеме вышедших из строя транспортных средств, создаются и реализуются программы по их утилизации, однако другим отходам и проблемам их утилизации уделяется гораздо меньше внимания. Если проанализировать структуру отходов автотранспорта, приведенную в сборнике удельных показателей образования отходов производства и потребления, то одну из наибольших долей в удельном весе общих отходов, занимают изношенные покрышки (что подтверждается статистическими данными).

При выборе методов утилизации покрышек необходимо прибегнуть к опыту стран Западной Европы, где проблемам экологии уделяется большое внимание. В Евросоюзе для борьбы с отходами жизнедеятельности человека (в том числе, и с отходами автотранспорта) была принята рамочная директива [5], где приводится иерархия способов борьбы с загрязнением окружающей среды (рисунок 1).

Согласно данной иерархии наиболее приоритетными для внедрения являются технологии, позволяющие минимизировать образование отходов или вернуть их в цикл производства в качестве сырья. Такой технологией является способ восстановления покрышек, однако, бесконечно восстанавливать автомобильные покрышки невозможно, и для небольших предприятий и владельцев частных автомобилей этот метод практически не применим. Согласно ресурсному подходу то, что является отходами в одной отрасли, может являться сырьем в других отраслях промышленности. Поэтому, предлагается, более детально остановиться на методах, позволяющих повторно использовать изношенные покрышки уже в других отраслях. На сегодняшний день в

Омской области существуют несколько небольших фирм занимающихся утилизацией данного вида отходов различными методами. Основными компаниями, утилизирующими изношенные покрышки, являются – Омскэлектро (использует технологию сжигания), ООО «Новый Город» (перерабатывает покрышки в мазут) и ЗАО Полигон по утилизации промышленных отходов (складирует покрышки на площадях). Методы, применяемые данными предприятиями, не позволяют эффективно бороться с данным видом отходов, и поэтому предлагается использовать метод переработки покрышек в резиновую крошку, которая имеет широкий спектр применения.

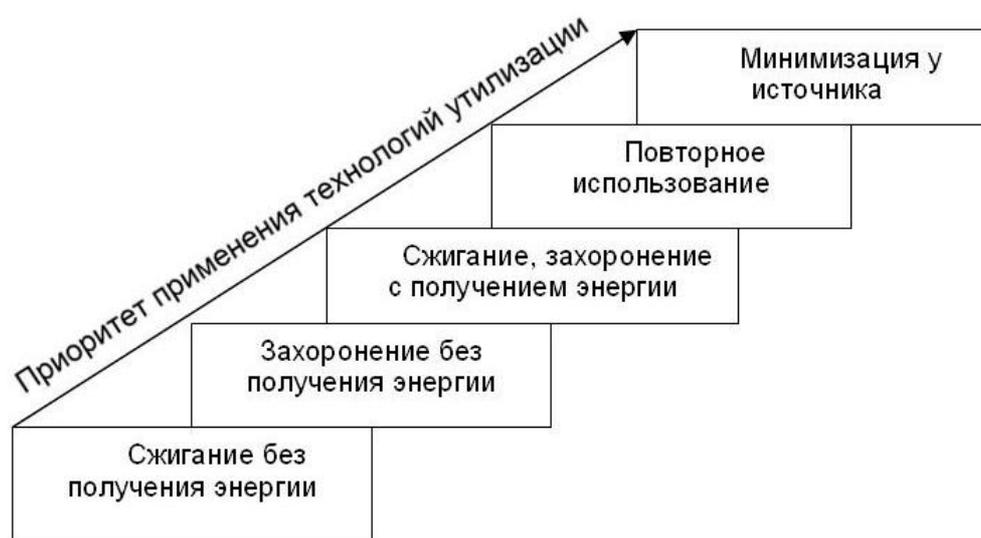


Рис. 1. Иерархия способов утилизации отходов

Далее необходимо выбрать форму, в которой частно-государственное партнерство будет реализовываться. На сегодняшний день все формы, которые может принимать частно-государственное партнерство можно структурировать представленным в таблице 1 образом.

Проанализировав все формы взаимодействия государства и бизнеса, автор пришел к заключению, что наиболее подходящей формой для решения поставленных задач является создание коммерческой организации с долевым участием, так как работа с небольшими предприятиями по переработке имеет следующие недостатки:

1. Небольшой объем переработки ограничивает возможности по реализации дан-

ного ресурса и не приносит желаемого экологического эффекта в рамках региона;

2. Требуются большие денежные и временные затраты на организацию данного предприятия, прохождения необходимых процедур по сертифицированию и лицензированию производства;

3. Остается не затронутым сектор личного транспорта и индивидуальных предпринимателей, на котором образуется большой объем отходов и где их утилизация обычно не ведется;

4. На небольших цехах невозможно обеспечить переработку полного спектра подлежащих утилизации покрышек [7].

Таблица 1 - Основные формы частно-государственного партнерства [6]

Формы ЧГП, ориентированные на выполнение функций управления	Формы ЧГП, ориентированные на реализацию программ и проектов	Формы ЧГП, ориентированные на участие общестственности
Концессия	Создание коммерческой организации (государство и частная компания)	Попечительские Советы
	Создание некоммерческой организации (государство и частная компания)	
Аутсорсинг	Заключение договора простого товарищества (государство и частная компания)	Управляющие Советы
Передача функций управления учреждениями Управляющим компаниям	Соглашение о сотрудничестве /протокол о намерениях	
	Формирование Фондов «Целевого капитала» некоммерческой организации	

Данные недостатки можно устранить путем организации крупной территориальной единицы на основе механизмов частно-государственного партнерства. Данная форма реализации механизмов частно-государственного партнерства так же позволит обеспечить максимальную защиту инте-

ресов обеих сторон, четко распределить права и обязанности, эффективно контролировать использование финансовых ресурсов и проводить мониторинг результатов деятельности юридического лица для реализации целей партнерства.

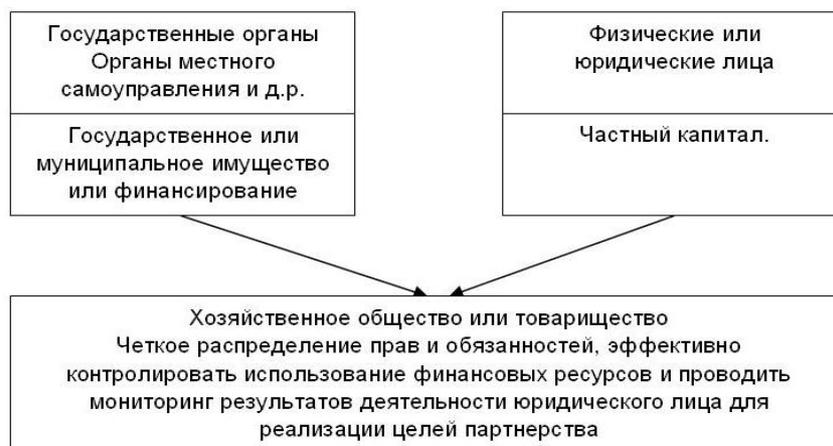


Рис. 2 .Принцип организации совместного предпринимательства

При организации данного комплекса по переработке изношенных покрышек необходимо решить следующие основные задачи:

- организация сбора покрышек у крупных предприятий;
- организация сбора покрышек у владельцев личного транспорта и индивидуальных предпринимателей;
- организация центра по переработке собранных покрышек;
- организация сбыта полученной продукции [8].

Основными принципом, на котором будет строиться партнерство с поставщиками сырья, должно являться понимание того, что изно-

шенные покрышки выступают сырьем, принадлежащим владельцам транспорта, поэтому, как и любое сырье, оно должно оплачиваться. На сегодняшний момент законодательно прописано, что ответственность за утилизацию отходов целиком возлагается на предприятия, и они обязаны оплачивать затраты, которые несут фирмы по утилизации. Данный подход приводит к тому, что небольшие компании утилизируют свои отходы не по правилам.

Однако, при концепции повторного использования, отходы становятся сырьем, и образуемая территориальная единица будет получать доход от продажи произведенного из

отходов материала, поэтому, по мнению авторов, экономически правильным будет именно «скупка» необходимых отходов – при данном принципе обе стороны будут заинтересованы в сотрудничестве. [9]

Однако помимо того, чтобы наладить поступление сырья необходимо организовать и сбыт продукции. Основными потребителями данных продуктов в городе Омске являются строительные компании, дорожно-строительные управления, шинный завод, другие фирмы выпускающие резинотехнические изделия.

Заключение

При данном методе организации частно-государственного партнерства, можно говорить о реализации интеграционного взаимодействия участников рассматриваемой схемы переработки и утилизации автотранспортных отходов. В этом случае выстраивается цепочка «мягкой» сбалансированной вертикальной интеграции, которая объединяет участников по ресурсной и маркетинговой направленности [10]

Основным преимуществом предлагаемого центра перед конкурентами, перерабатывающими небольшие объемы отходов, являются:

1. Возможность обеспечения постоянного объема поставок.
2. Более низкий уровень переменных издержек, что отразится на уровне цен.
3. Унификация технологии и обеспечение качества переработки отходов.
4. Экологическое соответствие установленным нормативам по защите окружающей среды и охране труда персонала.

В заключении можно сделать вывод, что использование механизма ГЧП может являться действенным средством для решения изложенной выше проблемы, однако, перед принятием решения об использовании данного механизма необходимо провести комплексную оценку рисков и финансово-экономический анализ.

Библиографический список

1. Колесникова К. И. Частно-государственное партнерство: опыт зарубежных стран и перспективы для России [электронный ресурс] // Научный вестник уральской академии государственной службы: сайт. – URL: <http://vestnik.uapa.ru/ru-ru/issue/2008/03/16/> (дата обращения: 28.02.2013).
2. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления [электронный ресурс] – URL:

http://www.waste.ru/uploads/library/specific_showing.pdf (дата обращения: 28.02.2013).

3. Климов П. Е. Государственно-частное партнерство как механизм финансирования модернизации инфраструктуры [электронный ресурс] // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – URL: <http://www.uecs.ru/uecs-35-352011/item/791-2011-11-17-06-04-34> (дата обращения: 28.02.2013).

4. Станкевич О. С. Обращение с отходами транспортного комплекса // Рециклинг отходов – 2008. №6 – С. 14-19.

5. Директива Совета 75/442/ЕЭС / Законодательное и нормативное обеспечение при обращении с отходами в Российской Федерации. URL: <http://www.waste.ru> (дата обращения 28.02.2013)

6. Формы и механизмы частно-государственного партнерства [электронный ресурс] – URL: http://www.mirkin.ru/_docs/_partnerfin/chgpp/1_1_2009_3.pdf (дата обращения: 28.02.2013).

7. Чепелева Н. Н., Эйхлер И. А. Application of auto recycling at Omsk Transport Company// Actual Scientific Researches of the Russian Scientists – Germany, München – 2011, С. 37 – 43.

8. Хаиров Б. Г. Формирование отношений властных и предпринимательских структур региона на принципах логистического администрирования деятельности // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2012. - № 5 (27) - С. 148-152

9. Портер М. Э. Конкуренция: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 608 с.

10. Эйхлер Л. В. Исследование перспективных форм интеграции на автомобильном транспорте с учетом конкурентных преимуществ организации. // Вестник ИНЖЕКОНА Серия: Экономика. 2009

ORGANIZATION OF RECYCLING OF WASTE OF AUTOTRANSPORT WITH APPLICATION OF MECHANISMS OF PRIVATE-STATE PARTNERSHIP

I. A. Eychler

In this article author offers a path to solve a problem of rising waste of autotransport on example of organization of a center of recycling of worn out tires with application of mechanisms of private-state partnership. Are defined basic principles organization of interaction between center, suppliers and consumers.

Эйхлер Иван Андреевич – преподаватель кафедры «Экономика и управление предприятиями» Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основное направление научной деятельности – предпринимательство, организация производственного процесса; общее количество публикаций – 8. e-mail: vaniaeichler@rambler.ru

РАЗДЕЛ VI

ВУЗОВСКОЕ И ПОСЛЕВУЗОВСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378:371.321

ФОРМИРОВАНИЕ БРЕНД БЕНЧМАРКЕТИНГА СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В. В. Бирюков, А. Н. Витушкин

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы использования бенчмаркетинга в системе высшего профессионального образования и бренд бенчмаркетинга для осуществления инновационных изменений в деятельности вузов и развития конкурентных преимуществ.*

***Ключевые слова:** высшее профессиональное образование, инновации, бенчмаркетинг, бренд бенчмаркетинг.*

Введение

В инновационной экономике основными источниками развития становятся улучшение качества человеческих ресурсов и генерирования и трансфер инноваций [4]. Происходящие в условиях глобализации усиление конкуренции на рынке образовательных и интеллектуальных услуг, существенные социально-демографические, организационно-экономические и научно-технологические изменения в российском обществе, а также реализуемая политика модернизации сферы образования способствуют появлению проблемы выбора стратегии развития и формирования и эффективных механизмов. В связи с этим возникает потребность применения современных управленческих технологий, позволяющих успешно развивать конкурентные преимущества образовательным организациям, выявлять и использовать лучший опыт в сфере высшего профессионального образования [2, 8].

Основная часть

Система высшего профессионального образования России переживает трудный период. Исследование формирования рыночных отношений в сфере образования и развития инфраструктуры рынка образовательных услуг позволило выявить их сложный и противоречивый характер [16]: с одной стороны, в результате активной адаптационной деятельности многих вузов, а также ряда мер, принятых на федеральном уровне и в части регионов, наметились и развиваются позитивные тенденции: формируется новая законодательная база, происходит перераспределение управленческих функций, возникают элемен-

ты многоканального финансирования, функционируют негосударственные учебные заведения, обновляется содержание образовательных программ и др.; с другой стороны, обозначился ряд других проблем, к которым можно отнести недостаточный уровень финансирования, не достаточно эффективный и прозрачный механизм распределения бюджетных средств, усиление социальной дифференциации в доступе к качественному образованию, низкий уровень социальной поддержки работников системы образования и обучающихся, высокий износ основных фондов, отток и старение преподавательского состава и др.

Система высшего профессионального образования испытывает необходимость системной модернизации, повышении качества и удовлетворения потребностей личности, общества, экономики и государства. Государственная политика реформирования высшего профессионального образования и продолжающиеся процессы реструктуризации системы образования (в части: изменения структуры образовательных учреждений; совершенствования управления университетами на национальном, региональном и институциональном уровнях; изменения направлений и специальностей подготовки выпускников; введения новых образовательных стандартов; обновления содержания образования и методик обучения, их качества и эффективности; введения бакалавриата и магистратуры; расширение негосударственного сектора образования; диверсификации образовательных программ; введения дистанционного обучения и пр.) сопровождаются появлением но-

вых проблем микро- и макроэкономического характера: управления развитием образования (проблема бенчмаркетинга образования); исполнения должностных обязанностей работниками сферы образования (проблема рестрикционизма); доверия в обществе, стабильности в экономике, открытости в системах, достоверности в информации (проблема транзакционных издержек).

Проблемы бенчмаркетинга вузов, ректрикционизма персонала и транзакционных издержек взаимозависимы и должны решаться в соответствии с запросами, интересами и потребностями, идущими от широкого спектра акционеров (государство в целом; органы управления образованием; промышленные, строительные, транспортные, сельскохозяйственные предприятия; коммерческие муниципальные организации; студенты, абитуриенты, родители; работодатели; банки и др.). Чтобы отвечать своему предназначению, образование как система должно обеспечивать на выходе хорошо подготовленных выпускников вузов, обладающих высоким качеством знаний, навыков, умений, компетентности, активной гражданской позицией, уровнем культуры и нравственности. Этого можно достигнуть при правильной организации образовательного процесса (его содержании и оснащенности материально-техническими, информационными, кадровыми ресурсами) благодаря формированию в вузе своеобразного института человека, позволяющего каждому студенту стать личностью созидательного типа, способной к культуротворчеству, строительству собственной жизни, среды обитания и общения, к целеоосмысленному общественному труду, к самореализации самосовершенствованию, к осознанию своего места и роли во взаимодействии с природой и общественными силами [6].

Для решения поставленных задач и укрепления своих конкурентных преимуществ вузы обращаются к современным управленческим технологиям, в частности, в бенчмаркетингу. Бенчмаркетинг это не только передовая технология конкурентного анализа, это – концепция, предполагающая естественное развитие у компаний стремления к непрерывному совершенствованию, поиску новых идей, их адаптации и последующего использования на практике [13].

Бенчмаркетинг как методология представляет собой учение о структуре, организации, методах и средствах улучшения деятельности организаций-партнеров (субъектов бенчмаркетинга) через выявление в них, изу-

чение и адаптацию лучшей практики. К объектам бенчмаркетинга могут относиться стратегии, товары, услуги, работы, процессы и другие составляющие деятельности организации. Как отмечается [11], ряд условий нынешнего времени делает бенчмаркетинг не просто приемлемым в сфере высшего образования, но практически обязательным. В данной ситуации вузы должны грамотно выбирать и применять методы совершенствования своей деятельности с учетом новых подходов, ориентируясь на лучших субъектов. При этом могут быть использованы разные виды бенчмаркетинга, которые отличаются по следующим признакам: 1) по уровню целей и задач по улучшению деятельности: стратегический и операционный; 2) по объекту бенчмаркетинга: проблемно-ориентированный и процессно-ориентированный (бенчмаркетинг процесса, бенчмаркетинг результата, бенчмаркетинг ресурсов); 3) по субъекту бенчмаркетинга: внутренний и внешний (конкурентный, функциональный и глобальный бенчмаркетинг).

Методология бенчмаркетинга появилась на стыке менеджмента и маркетинга. Поэтому в ней от маркетинга идет ориентация на потребителя и постоянное улучшение, а от менеджмента – на производительность и эффективность. Производительность связана с минимализацией затрат [4]. В любой организации управление затратами требует адаптированной организационной структуры, системы принятия и реализации решений, развитой инфраструктуры для осуществления деятельности, методов распределения бюджетных средств, системы учета и структуры вознаграждения для стимулирования деятельности. К содержательным характеристикам особенностям бенчмаркетинга можно отнести следующие [15]: общесистемный характер, то есть охват всех аспектов деятельности организации, включая ее радикальное изменение как системы в целом; четкую нацеленность на достижение лучшего уровня, в том числе в масштабах глобального рынка; практическую прикладную ориентацию, то есть нахождение практических решений вопроса «Как осуществить необходимые улучшения?». Системный подход, лучший уровень и прикладная ориентация прежде всего означают практическое достижение конкретных конкурентных преимуществ.

Развитые страны, учитывая все возрастающую роль человеческого капитала в современной инновационной экономике, рассматривают бенчмаркетинг как новую сис-

тему менеджмента, которая определяется в широком смысле как типичное поведение экономических субъектов всех уровней (государство, сектор, отрасль, предприятие) в условиях рыночной экономики нового качества [12] – наукоемкой, высокотехнологичной, с высоким уровнем конкуренции, образованной и квалифицированной рабочей силой, системами эффективного управления информацией. Как отмечают эксперты, в международной практике система бенчмаркетинга в инновационной экономике является той ее частью, которая обеспечивает конкурентоспособность различных хозяйствующих и иных субъектов. Приоритетным направлением становится внутрифирменное непрерывное образование на базе осуществляемых фирмами «контрольных сравнений». Для обеспечения непрерывного образования собственных кадров (прежде всего менеджеров, с тем, чтобы данная корпорация всегда была в курсе наиболее передового делового опыта) учреждается система так называемых «корпоративных университетов», представляющих собой огромные многонациональные учебные заведения с широкой инфраструктурой студенческих городков, осуществляющих дорогостоящие учебные и научно-исследовательские программы.

В настоящее время активно формируются корпоративные системы образования. Эти системы очень мобильны в отношении передового технологического обеспечения подготовки высококвалифицированных специалистов. Корпоративные университеты устанавливают партнерские отношения с традиционными вузами (которые, по мнению экспертов, оказались не на уровне новых требований к подготовке специалистов), поставляют образовательные программы любым другим корпорациям, оказывают консультативные услуги, выпускают учебную литературу для любых пользователей и др. Система внутрифирменного образования выступает как важнейший управленческий фактор, призванный в рамках «менеджмента знаний» предложить организации достойную стратегию поведения в поиске собственной конкурентоспособной ниши.

Генеральная цель бенчмаркетинга заключается в максимальном удовлетворении потребностей и интересов в достижении идеального образа желаемого, возможного, необходимого и исторически приемлемого всеми социальными стратами, компаниями и обществом. Заимствование же ставшим популярным в менеджменте понятия бренда

(как хорошо продуманная теория, сформулированная система идей, принципов и методов, обобщающих практический опыт и отражающая основные закономерности осуществляемых процессов) позволяет сказать [11,12,13,14,17], что бренд бенчмаркетинга – это:

1) развитие личности, ее адаптация к современным динамично меняющимся условиям жизнедеятельности, получение образования в соответствии со склонностями, способностями, жизненными ценностями и устремлениями;

2) обеспечение кадрового потенциала и подготовка специалистов, соответствующим меняющимся потребностям экономики и появлению новых видов деятельности;

3) гармонизация системы высшего профессионального образования России и движение в мировое образовательное пространство, укрепление конкурентных позиций на мировом рынке образовательных услуг;

4) уверенные действия в системе разнородных проектов (от организации в целом до личности каждого отдельного работника), продуктивное межпредметное, межпрофессиональное и межличностное взаимодействие;

5) выявление, сбор информации, заимствование и внедрение «у себя» передового организационно-управленческого опыта (на всех уровнях и во всех видах организаций);

6) осознание необходимости превращения «случайной» практики бенчмаркетинга в систему профессионального менеджмента и проведение в жизнь принципа: совсем не важно, где и кем высказана «передовая идея», но важно то, где и как работает эта «передовая идея»;

7) концепция, предполагающая естественное развитие у организаций стремления к непрерывному совершенствованию, поиску новых идей, их адаптации и последующего использования на практике;

8) учение о структуре, организации, методах и средствах улучшения деятельности организаций-партнеров (субъектов бенчмаркетинга) через выявление в них, изучение и адаптацию лучшей практики;

9) системный подход, нацеленность на достижение лучшего организационно-технологического уровня и прикладная ориентация (нахождение управленческих решений вопроса «Как осуществить необходимые улучшения?»);

10) новая система менеджмента, определяющая типичное поведение экономических и иных субъектов всех уровней (государство,

сектор, отрасль, организация) в условиях социально ориентированной инновационной экономики.

11) преобразование вуза в эффективную, самоокупающуюся систему, генерирующую инновационные идеи, осуществляющую научные идеи и разработки, оказывающую консультационные услуги и проведение экспертиз по заказу инновационных предприятий.

Задача государственных и негосударственных высших учебных заведений заключается в том, чтобы, опираясь на методологию бенчмаркетинга, найти, поддержать и реализовать те изменения (нововведения) (и связанные с ними конкурентные преимущества), которые максимально удовлетворяют бренду современности.

Для разработки мероприятий, направленных на обеспечение устойчивого и динамичного развития вуза важно учитывать, что финансовые источники такого развития могут формироваться за счет реализации разнообразных услуг (и продуктов), поступающих на соответствующие рынки при осуществлении образовательной, научно-исследовательской, инновационной и предпринимательской деятельности. В связи с этим определение стратегических целей связано, прежде всего, с необходимостью развития и реализации ключевых сравнительных преимуществ данных видов деятельности, а стратегических задач – необходимостью разработки комплекса мероприятий, адекватных меняющейся внутренней и внешней среде [2]. Данный комплекс мероприятий должен охватывать все сферы деятельности вуза и при его разработке целесообразно опираться на результаты маркетингового анализа соответствующих рыночных сегментов и сопоставительного бенчмаркетингового анализа в продуктовом и ресурсных разрезах.

Именно взаимосвязанность и дополненность всех потенциальных источников роста (ресурсы; местоположение; достигнутый уровень, структура и перспективы деятельности; образовательный и научный потенциал и др.), развитие и использование динамических способностей эффектов кооперационно-инновационных взаимодействий, могут существенно повысить общую конкурентоспособность вуза и создать предпосылки для быстрого роста на основе получения различных видов инновационно-предпринимательской ренты [5,7,15].

Проблему формирования и реализации конкурентных преимуществ вуза, использование резервов повышения производительности

труда за счет роста инициативы и предпринимательской активности профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников невозможно решить стандартным способом в рамках традиционной организационной структуры. Ее решение связано с радикальным изменением принципов построения организации деятельности академии, взаимоотношений со структурными подразделениями, децентрализацией ресурсов и полномочий, ростом самостоятельности, мотиваций к труду и ответственности. Стратегические направления развития организационной и финансово-экономической деятельности могут включать в себя: модернизацию организационно-управленческих механизмов; формирование многоканальной системы привлечения финансовых средств; обеспечение оптимизации расходования ресурсов и др. Важным стратегическим ресурсом повышения качества образовательной, научно-инновационной и предпринимательской деятельности является интеграция вуза и производства на основе кластерного подхода [8,9,10].

В настоящее время российские университеты включились в борьбу за достойное место в наиболее популярных рейтинговых системах. Однако опыт показывает по крайней мере две принципиальные ошибки, которые допускают они в процессе стремления войти в топ-листы глобальных рейтингов университетов [1]. В России традиционно действовала система специализированных институтов, и им конкурировать с сильно диверсифицированными западными университетами довольно проблематично. Существенно то, что российские вузы сложились как образовательные структуры, а не научно-образовательные, поэтому им сложно конкурировать на мировом исследовательском рынке. Наконец, борьба по чужим правилам (критериям) ставит российские образовательные заведения в заведомо невыгодное положение. Как, например, конкурировать с американскими вузами, которые действуют в родной языковой среде и обладают такими преимуществами, как эндаумент (endowment), который, к примеру, для Гарвардского университета составляет около миллиарда долларов? Во-вторых, российские вузы даже на национальном уровне ориентируются в основном на конкуренцию между университетами как таковыми, но важнее конкурировать по конкретным направлениям, которые представлены в вузе. Подмена профессиональной конкуренции по отдельным научным направлениям общеуниверситетской конкуренцией приводит к иска-

жению всей системы оценки и стимулов, правильнее ориентироваться на рейтинги университетских факультетов (РУФ). Кроме того, сегодня уже стало совершенно понятно, что справедливая международная конкуренция по целому ряду научных дисциплин просто невозможна.

Российская система вузов нуждается в рейтинговании, однако эти процедуры должны быть адаптированы к специфике образования России. Важно использовать следующие принципы. Во-первых, целесообразно разработать РУФ, а не общеуниверситетские рейтинги. Это позволит в значительной степени очистить оценку значимости университета по конкретному научному направлению от силы университетского бренда и общеуниверситетской репутации. Во-вторых, требуется – следует использовать национальные РУФ, а не глобальные [1]. В-третьих, необходимо формировать многофакторную рейтинговую систему, позволяющую вузам выявлять наиболее уязвимые составляющие своей деятельности и использовать лучшие практики.

Заключение

Качественно новый этап развития вузов в стратегической перспективе резко отличается от прошедшего периода и связан во многом с исчерпанием сегодняшних источников развития и необходимостью выработки принципиально новых подходов, как в подготовке специалистов и научно-инновационной деятельности, так и в организации управления финансово-экономической системы. Формирование стратегических направлений развития образовательной, научно-инновационной, организационной и финансово-экономической деятельности должно обеспечить адекватный ответ на новые вызовы и угрозы долговременного периода, позволяя решать специфические задачи деятельности вызов как субъектов рыночных отношений, удовлетворения рыночного спроса в условиях нарастающей конкуренции на рынках интеллектуального труда и интеллектуальной продукции.

Библиографический список:

1. Балацкий Е. Российская практика оценки эффективности университетских программ / Е. Балацкий // *Общество и экономика*. – 2012.- № 11.
2. Бирюков В. В. Финансово-экономические аспекты развития академии / Бирюков В.В. // *Высшее образование в России*.- 2011.- №1.
3. Бирюков В. В. Предпринимательское управление и механизм образования доходов / В. В. Бирюков // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: матер.

VII Всерос. науч.-практ. конф. (с межд. участием) – Омск: СибАДИ, 2012. Кн.3.

4. Бирюков В. В. Формирование общества знания в России и активизация инновационных процессов / В. В. Бирюков, В. П. Плосконосова // *Трансфер знаний и технологий в современной России: сборник научных трудов* – Омск: СибАДИ, 2013.

5. Бирюков В. В. Развитие конкурентных преимуществ предпринимательских структур в сфере строительства в условиях инновационной экономики / В. В. Бирюков // *Трансфер знаний и технологий в современной России: сборник научных трудов* – Омск: СибАДИ, 2013.

6. Витушкин А. Н. Учебное сквозное проектирование: Учебное пособие / А. Н. Витушкин. – Омск: Издательство СибАДИ, 2005.

7. Кирничный В. Ю. Модернизация региональной системы профессионального и непрерывного образования и подготовки кадров высшей квалификации в сфере строительства / В. Ю. Кирничный // *Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: матер. Межд. 66-й науч.-практ. конф.* – Омск: СибАДИ, 2012. Кн.2.

8. Практико-ориентированная подготовка кадров высшей квалификации в сфере строительства / В. Ю. Кирничный // *Вестник СибАДИ*. – 2012.- №5. – С. 168-172.

9. Кирничный В. Ю. Внедрение конкурентоспособных технологий в региональный строительный комплекс и совершенствование форм его организации / В. Ю. Кирничный // *Трансфер знаний и технологий в современной России: сборник научных трудов* – Омск: СибАДИ, 2013.

10. Кирничный В. Ю. Региональные факторы активизации процессов внедрения конкурентоспособных технологий и эффективных методов строительного производства / В. Ю. Кирничный, В. В. Бирюков // *Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительных комплексов России: матер. Межд. 66-й науч.-практ. конф.* – Омск: СибАДИ, 2012. Кн.2.

11. Князев Е. А. Бенчмаркетинг для вузов: Учебно-методическое пособие / Е. А. Князев, Я. Ш. Евдокимова. – М.: Университетская книга, Логос, 2006.

12. Кузнецов М. Общечеловеческий прогресс через бенчмаркетинг / М. Кузнецов // *Консультант директора*. 2005, № 5.

13. Михайлова Е. А. Бенчмаркетинг / Е. А. Михайлова. – М.: ООО Фирма «Благовест –В», 2002.

14. Попов В. Н. Системный анализ в менеджменте: Учебное пособие / В. Н. Попов, В. С. Касьянов, И. П. Савченко; под ред. В. Н. Попова. – М.: КНОРУС, 2007г.

15. Романенко Е. В. Формирование и развитие динамических способностей малого предпринимательства / Е. В. Романенко // *Трансфер знаний и технологий в современной России: сборник научных трудов* – Омск: СибАДИ, 2013.

16. Серегин В. Н. Штурманы знаний: некоторые аспекты государственного регулирования рынка образовательных услуг / В. Н. Серегин // Российское предпринимательство. 2006, № 12.

17. Титова В. А. Современные аспекты управления инновационной деятельностью высшего учебного заведения / В. А. Титова, О. А. Латуха // Менеджмент в России и за рубежом, 2007, № 6.

FORMATION OF BRAND BENCHMARKINGA HIGHER EDUCATION

V. V. Biryukov, A. N. Vitushkin

Address the use benchmarkinga in higher education system and the brand benchmarkinga for innovative changes in the activities of universities and the development of competitive advantages.

Бирюков Виталий Васильевич – доктор экономических наук, проф., проректор по научной работе Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). Основные направления научных исследований: экономика и управление народным хозяйством, организациями сферы строительства и транспорта; экономики и предпринимательства. Общее количество опубликованных работ: более 200. E-mail: prorector_nis@sibadi.org

Витушкин Александр Николаевич - кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры "Менеджмент" Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Основные направления научных исследований: феноменологический анализ формирования потенциала организации и определения приоритетных направлений ее развития, технологии разработки, принятия и реализации управленческих решений. Общее количество опубликованных работ: более 130. E-mail: rcpk@sibadi.org

УДК 37.013.46

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МЕТОДИКИ РАЗВИТИЯ МЫШЛЕНИЯ

Е. В. Цупикова

Аннотация. *Задача данной статьи – на основе анализа психолого-педагогической литературы раскрыть понятия «мышление», «аспекты мышления», «развитие мышления», «мыслительные операции», показать слитность процессов развития мышления с процессами развития речи обучающихся, а также установить взаимосвязи между мыслительными операциями и типами умений, формируемых в ходе работы над учебным текстом.*

Ключевые слова: *мышление, мыслительные операции, внутренняя речь, авторефлексия.*

Введение

Проблема развития мышления исследовалась многими психологами и дидактами (П. П. Блонский 1964, Л. С. Выготский 1982, П. Я. Гальперин 2000, А. Н. Леонтьев 1965, Ж. Пиаже 1969, Я. А. Пономарев 1967, С. Л. Рубинштейн 1989 и др.). Приведя достаточно подробный анализ понимания феномена мышления в современной научной литературе, Ю. В. Казакова приходит к выводу, что «единого представления о мышлении в науке нет» [1: 23]. Мы будем понимать под мышлением внутреннюю психическую деятельность субъекта, условно разделенную на внутреннюю речь, включающую мыслительные операции, а также алгоритмы авторефлексивной деятельности и опыт (память), элементами которых являются комплексы смысловых структур, подобные опорным схемам.

Вопрос о развитии мышления является объектом исследования многих выдающихся ученых. Л. С. Выготский выдвинул гипотезу о происхождении внутренних умственных процессов из внешней деятельности. П. П. Блонский показал, что развитие мышления определяется способностью ребенка переводить действие в мысль, а мысль по своей природе призвана рождать действие. А. Н. Леонтьев под развитием психики понимал развитие как внешней, так и внутренней деятельности человека, показателем развития считалось изменение типа деятельности ребенка. П. Я. Гальперин в своей гипотезе поэтапного формирования умственных действий описал этапы перехода от внешнего действия к внутренним. Ведущим компонентом развития мышления В. В. Давыдов называет умение действовать без внешней опоры, Л. В. Занков – формирование понятий, Я. А. Пономарев – уме-

ние выстраивать внутренний план действий в соответствии с внешним.

Основная часть

Мы будем понимать под развитием мышления формирование и совершенствование внутренней речи и памяти, мыслительных операций, авторефлексивных умений и умственных способностей обучающихся.

Это определение не противоречит принятому в педагогике пониманию термина «развитие мышления» [см. 1: 32]. Оно определяет направления работы по развитию речевых и умственных умений обучающихся:

1. Развитие внутренней речи и памяти обучающихся посредством составления логических опорных схем текста (работа по освоению текста);

2. Развитие мыслительных операций студентов (действия с языковым материалом);

3. Развитие авторефлексии обучающихся в ходе работы по восстановлению и изложению хода своих рассуждений (работа по построению текста);

4. Развитие умственных способностей студентов посредством соблюдения в учебном процессе педагогического принципа обучения на высоком уровне сложности.

Первым указал на целесообразность использования опорных схем в развитии речи Н. И. Жинкин. Опорная схема – это внешний аналог схем внутренней речи: «Большую роль во внутренней речи выполняют наглядные представления и схемы, которые предварительно были сформированы при помощи словесного синтеза, а в дальнейшем могут выступать как экономные заместители этих словесных структур. Замена осуществляется по правилам смысловой эквивалентности» [2: 328]. Реализовал эту систему В. Ф. Шаталов, хотя из работ самого В. Ф. Шаталова следует, что он не знаком с концепциями внутренней речи, но, по сути, его методика опорных сигналов является дидактическим способом формирования внутренней речи.

Наши наблюдения за процессом обучения в вузе показали, что студенты не научены эффективно и сознательно пользоваться мыслительными операциями, с помощью которых могли бы описывать особенности интеллектуальной деятельности, находить успешные мыслительные стратегии, позволяющие им эффективно решать учебные и неучебные задачи. Следствием этого являются трудности и неудачи в учебной деятельности. Мы исходили из предположения, что если при обучении студентов специально знакомить их

со структурой мышления, учить приемам продуктивного мышления, осознанию и эффективному использованию логических мыслительных операций, то можно существенно повысить качество обучения студентов, облегчить им усвоение материала, снизить количество допускаемых ими ошибок и развить умения авторефлексии.

Опишем развитие мыслительных операций и показатели развитости логического мышления и изучаемые в этих целях языковые и речевые явления:

1. Мыслительная операция анализа проявляется в умениях выделять в тексте главное; делать правильные выводы из фактов и проверять их; расчленять текст на составные части и составлять его план (опорную схему). Для развития операции привлекаются явления гетеронимия, гипонимия, анализ ЛЗ (структура знака), анализ инвариантно-вариативных отношений между уровнями текста.

2. Мыслительная операция синтеза проявляется в умении отвечать на вопросы по изучаемому материалу (строить связные высказывания). Развитию операции служит изучение предикаций разных уровней и их роли в построении речевых ситуаций. «Мышление непременно начинается с ассоциаций, с синтеза, затем идет соединение работы синтеза с анализом» [3].

3. Мыслительная операция сравнения проявляется в умении устанавливать признаки сходства и различия между предметами и явлениями. Развитию операции служит изучение полисемии (таких ее типов, как метафора и функциональный перенос).

4. Мыслительная операция обобщения и классификации проявляется в умении выделять существенные свойства предметов и абстрагировать их от несущественных. Развитию операции служит изучение правил построения дефиниций (общее понятие + видовые признаки).

5. Мыслительная операция категоризации проявляется в умении производить ориентировку на всем материале – относить его элементы к определенным категориям. Развитию операции служит изучение явлений тематической и лексико-семантической групп слов.

6. Мыслительная операция систематизации проявляется в умении устанавливать порядок в расположении частей целого и связей между ними. Развитию операции служит изучение способов выделения опорных пунктов, составления мнемического плана (компрессия информации).

7. Мыслительная операция ассоциации проявляется в умении устанавливать связи по сходству, смежности, противоположности материала с индивидуальным опытом субъекта и т. д. Развитию операции служит изучение речевого явления внешней метонимии (основы для составления речевых ситуаций и явления пресуппозиций).

8. Мыслительная операция аналогии проявляется в умении устанавливать сходство, подобие в определенных отношениях разных объектов. Развитию операции служит изучение явлений синонимии и дублетов.

9. Мыслительная операция схематизации проявляется в умении представить информацию в общих чертах. Развитию операции служит построение подробного плана текста.

10. Мыслительная операция серийной организации материала проявляется в умении распределять информацию по объему, времени и др. о развитии операции говорит степень раскрытия темы в тексте (сведения об импликациях).

11. Мыслительная операция перекодирования проявляется в умении преобразовывать информацию на основе семантических связей. Развитию операции служит изучение способов обеспечения вариативности изложения, трансформационных возможностей текста.

12. Мыслительная операция достраивания материала проявляется в умении объяснять, излагать текст с пояснениями; выявлять пресуппозиции разных типов. О развитости операции говорит умения изложения текста, построения контртекста.

Уровни внутреннего плана действий студентов опишем в связи с отслеживанием динамики авторефлексии обучающихся:

Программирующий уровень характеризуется

1) оптимальной скоростью и высоким качеством выполнения действия: студент исправляет ошибку в момент ее возникновения, иногда даже не заканчивая ошибочное действие;

2) преподаватель фиксирует только ошибки «усвоения», которые не могут быть исправлены студентом в силу незнания им данного материала. Действие самоконтроля сформировано и автоматизировано.

Транспонирующий уровень характеризуется тем, что

1) студент самостоятельно исправляет допущенную ошибку, но с некоторым временным отставанием; лучший результат дает отсроченный контроль;

2) преподаватель фиксирует только не исправленные в результате самоконтроля ошибки. Самоконтроль сформирован, но недостаточно автоматизирован: для осуществления самоконтроля необходимы специальные условия, лучший результат дает отсроченный самоконтроль.

Репродуцирующий уровень определяется тем, что

1) студент, допустивший ошибку, самостоятельно ее не исправляет, но при указании преподавателем зоны ошибки делает это достаточно быстро;

2) внешний контроль и указание зоны ошибки служат как бы запуском механизма самоконтроля. Все компоненты, необходимые для правильного выполнения действия, отработаны, но речевой самоконтроль полностью не сформирован – не срабатывает механизм запуска самоконтроля. Студент не испытывает потребности улучшить текст и адресует его контролю преподавателя.

Манипулирующий уровень характеризуется тем, что

1) студент не способен сам найти и устранить ошибку; указания зоны ошибки недостаточно для ее устранения;

2) студент исправляет ошибку только под руководством преподавателя при объяснении всей программы действия. Отсутствует часть компонентов, необходимых для формирования самоконтроля: студент не способен осуществлять самоконтроль и устранять ошибки даже при указании на них).

Критериями развития мышления для нас выступили степень осознанности совершаемой умственной работы, степень овладения умениями и сформированность умения осуществлять перенос умений на другие ситуации и объекты. Основным показателем развитости мышления служит речь. Она выступает формой выражения содержательной стороны мышления. Механизмом планирования внешней речевой высказываний является внутренняя речь. В работах Л. С. Выготского, Н. И. Жинкина внутренняя речь рассматривается как структура, управляющая как мышлением, так и внешней речью [4], [5].

Заключение

Внешняя речь закрепляет в сознании образы ощущения, осмысления и мышления (понимания), в виде знаков, превращая их в структуры памяти. Без фиксации в знаках второй сигнальной системы (речи) память как психическая ассоциация обречена на кратковременное существование [6]. Процессы внутреннего перекодирования могут идти от

ощущения к мышлению (через осмысление), и наоборот – от мышления к ощущению (через этап осмысления): речемыслительный процесс в целом представляет собой перекодирование лингвистических структур в денотативно-предикативные, денотативно-

предикативных в предметные (интериоризация); и наоборот – предметные перекодируются в денотативно-предикативные, а денотативно-предикативные в лингвистические (экстериоризация):



Рис. 1. Интеллектуальная деятельность и речь

Библиографический список

1. Казакова, Ю. В. Развитие мышления учащихся основной школы в процессе формирования информационной деятельности при обучении физике. Автореферат дисс. на соискание ст. канд. пед. н. – Москва, 2009. – 16с.
2. Жинкин, Н. И. Язык – речь – творчество: избранные труды / Н. И. Жинкин. – М.: Лабиринт, 1998. – 368 с.
3. Павловские среды. – М., 1949.
4. Выготский Л. С. Мышление и речь // Выготский Л. С. Психология развития человека. – М.: Изд-во Смысл; Изд-во Эксмо, 2003. – 1136 с., ил. (Серия «Библиотека всемирной психологии»). – С. 664 – 1020.
5. Жинкин, Н. И. О кодовых переходах во внутренней речи / Н. И. Жинкин // Вопр. языкознания. - 1964. - № 6. - С. 26 - 38.
6. Бельдиян, В. М. Основы дидактолингвистики / В. М. Бельдиян. – Омск: Изд-во ОмГПУ 2007. – 118 с.

BASIC TRENDS IN THINKING DEVELOPMENT METHODS

Helena V. Tsoupiкова

The purpose of the article is to disclose such notions as “thinking”, “aspects of thinking», «thinking development”, “intellectual operations”, illustrate the unity of such processes as thinking development and speech development of students, and define the links between intellectual operations and types of competences, formed while dealing with educational texts. The article’s content emerges from thorough analysis of pedagogical and psychological literature.

Цупикова Елена Викторовна - кандидат педагогических наук, доцент Кафедры Иностранного языка Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). Основные направления научной деятельности: семантика, лексикология, психоллингвистика, когнитология, методика преподавания языков. e-mail: chisel43@yandex.ru

РАЗДЕЛ VI

ЭКОЛОГИЯ

УДК 624.873:621.646

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ДИНАМИКУ ЧИСЛА ПОСТРАДАВШИХ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАРАЖЕНИИ

Д. С. Алешков, Е. А. Бедрина, А. Ю. Клишина

Аннотация. В результате проведенного моделирования были получены зависимости числа пострадавших для рассматриваемой городской инфраструктуры в зоне химического заражения. Сделан вывод о том, что организация городской среды и траекторий движения населения оказывает непосредственное влияние на рост числа пострадавших в зоне химического заражения.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, популяция, городская инфраструктура, моделирование.

Введение

Представляет интерес выявление закономерностей влияния формирования городской инфраструктуры на поведение населения и его попадания в зону действия поражающих факторов чрезвычайных ситуаций (ЧС) [1-4].

В общем виде городская инфраструктура строится по следующим схемам [5]: радиальная и радиально-кольцевая схема улиц, прямоугольная схема улиц, прямоугольно-диагональная схема улиц.

Для исследования поведения населения в условиях ЧС с учетом особенностей городской инфраструктуры проводился машинный эксперимент поведения населения в условиях ЧС.

Основные допущения, принятые в ходе компьютерного моделирования, следующие:

- население движется с постоянной скоростью $v=1,3$ м/с;
- выбор направления движения групп населения на перекрестках и поворотах определялся на основании равномерного распределения;
- плотность населения рассматриваемого участка городской среды является постоянной величиной;
- размеры зоны химического заражения рассчитывались по методике [6], при этом координаты очага химического заражения заданы.

Координата каждого человека в момент времени t определялась по формулам:

$$x_i = (t + \Delta t) = x_i(t) + v\Delta t$$

$$y_i = (t + \Delta t) = y_i(t) + v\Delta t,$$

где $x_i(t)$, $y_i(t)$ - координаты положения человека в момент времени t ; v - скорость движения человека; $x_i(t+\Delta t)$, $y_i(t+\Delta t)$ - координаты положения человека в следующий момент времени.

В результате проведенного моделирования были получены зависимости числа пострадавших для рассматриваемой городской инфраструктуры в зоне химического заражения от направления ветра (рис. 1).

Из графика видно, что динамика числа пострадавших при принятых допущениях и начальных условиях подчиняется экспоненциальному распределению вида [7]:

$$N_{\text{постр}} = N - e^{-Yt} \quad (1)$$

где N - начальная численность населения, чел; $N_{\text{постр}}$ - количество пострадавших, чел; Y - коэффициент пропорциональности; t - время, сек.

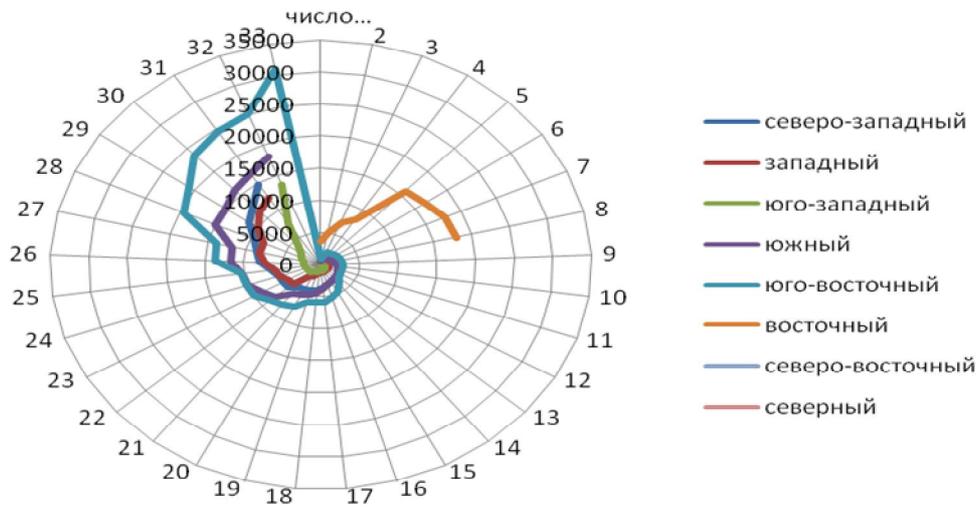


Рис. 1. График изменения числа пострадавших от направления ветра

Выясним роль и структуру коэффициента пропорциональности и связь (1) с особенностями организации городской инфраструктуры.

Для этого выделим следующие виды участков движения [5]: пересечение в одном уровне двух дорог (четырёхсторонний перекресток); примыкание (трехсторонний перекресток); поворот; прямолинейный участок на перегоне.

Принимаем следующие допущения:

- все улицы одинаковой длины, L ;
- на каждой улице одинаковое количество населения, N ;
- движение равновероятно;
- население движется с постоянной скоростью v .

При принятых допущениях, опуская промежуточные выкладки, движение в направлении зоны химического заражения по улице определяется по формуле:

$$\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} v\Delta t \quad (2)$$

$$\sum_1^k \frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} v\Delta t + \sum_0^p \frac{1}{2} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i,j\pm 1}}{2L_{i,j\pm 1}} \right) v\Delta t + \sum_0^q \frac{1}{3} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i\pm 1,j}}{2L_{i\pm 1,j}} + \frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} \right) v\Delta t + \sum_0^r \frac{1}{4} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i\pm 1,j}}{2L_{i\pm 1,j}} + \frac{N_{i,j-1}}{2L_{i,j-1}} + \frac{N_{i,j+1}}{2L_{i,j+1}} \right) v\Delta t \quad (6)$$

С учетом того, что улица входит в состав перекрестков, первого и второго допущений, после подстановки в (2) окончательно имеем:

В направлении зоны химического заражения от поворота:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i,j\pm 1}}{2L_{i,j\pm 1}} \right) v\Delta t \quad (3)$$

В направлении зоны химического заражения от примыкания:

$$\frac{1}{3} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i\pm 1,j}}{2L_{i\pm 1,j}} + \frac{N_{i,j\pm 1}}{2L_{i,j\pm 1}} \right) v\Delta t \quad (4)$$

В направлении зоны химического заражения от пересечения в одном уровне двух дорог:

$$\frac{1}{4} \left(\frac{N_{i,j}}{2L_{i,j}} + \frac{N_{i\pm 1,j}}{2L_{i\pm 1,j}} + \frac{N_{i,j-1}}{2L_{i,j-1}} + \frac{N_{i,j+1}}{2L_{i,j+1}} \right) v\Delta t \quad (5)$$

Таким образом, городская структура есть совокупность перекрестков разного типа, что позволяет представить траекторию движения к зоне химического заражения как сумму (3), (4), (5):

$$\left(\frac{3}{4}r + \frac{2}{4}q + \frac{1}{4}p + 1 \right) \frac{N}{2L} v\Delta t \quad (7)$$

Здесь общее количество населения с количеством населения на отдельной улице связано соотношением:

$$kN = N_{\text{общ}}$$

Соответственно, общая длина улиц:

$$kL = L_{\text{общ}}$$

Общее количество улиц связано с количеством перекрестков следующим соотношением:

$$k = 3r + 2q + p + 1.$$

Таким образом, уравнение динамики населения примет вид:

$$\frac{dN_{\text{постр}}}{(N_{\text{общ}} - N_{\text{постр}})} = \frac{\left(\frac{3}{4}r + \frac{2}{4}q + \frac{1}{4}p + 1\right)}{2L_{\text{общ}}} v \Delta t \quad (8)$$

Произведя интегрирование, окончательно имеем:

$$N_{\text{постр}} = N_{\text{общ}} - e^{-\frac{3}{4}r + \frac{2}{4}q + \frac{1}{4}p + 1} vt} \quad (9)$$

Данная зависимость имеет вид, аналогичный полученному в результате компьютерного моделирования (1). После сравнения результатов компьютерного моделирования и оценки полученной аналитической зависимости, можно сделать следующие выводы:

- характер изменения числа пострадавших в зоне химического заражения носит экспоненциальный характер;
- влияние организации городской инфраструктуры на число пострадавших определяется количеством перекрестков и длиной прямолинейных участков;
- увеличение количества перекрестков приводит к росту числа пострадавших во времени;
- увеличение прямолинейного участка снижает количество пострадавших во времени;
- роль перекрестков разных типов в увеличении количества пострадавших во времени различна, наибольшее влияние оказывает пересечение в одном уровне двух дорог.

Таким образом, организация городской среды и траекторий движения населения оказывает непосредственное влияние на рост числа пострадавших в зоне химического заражения.

Библиографический список

1. Моторный И. Д. Современный терроризм и оценка диверсионно-террористической уязвимости гражданских объектов: Монография. – М.: Изд-ль Шумилова И.И., 2004. – 106 с.
2. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / Д. А. Кривошеин, Л. А. Муравей, Н. Н. Роева и др. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 447 с.
3. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий при чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие для вузов / В. В. Денисов, И. А. Денисова, В. В. Гутенев, О. И. Монтвила. – М.; Ростов н/Д: МарТ, 2003. – 607 с.
4. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учеб./ Б. С. Мастрюков. – М.: Академия, 2003. – 336 с.
5. Владимиров В. А. Инженерные основы организации дорожного движения. – М.: Стройиздат, 1975. – 455 с.
6. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.
7. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике.- М: Астрель: АСТ, 2004.-991 с.

DEPENDENCES OF INFLUENCE CITY ENVIRONMENT ORGANIZATION ON THE DYNAMICS QUANTITY SUFFERS IN CHEMICAL DANGEROUS ZONE

D. S. Aleshkov, E. A. Bedrina, A. U. Klishina

In consequence modeling be received dependences quantity suffers for city infrastructure in chemical dangerous zone on wind direction. Made conclusion about, that city environment organization and moving population path exert influence on the increase quantity suffers in chemical dangerous zone.

Алешков Денис Сергеевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Основное направление научных исследований – проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности. Имеет более 25 опубликованных работ. bjd@sibadi.org

Бедрина Елена Анатольевна – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Основное направление научных исследований – проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности. Имеет более 25 опубликованных работ. bjd@sibadi.org

Клишина Анастасия Юрьевна – студентка факультета «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВПО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. bjd@sibadi.org

**Требования к оформлению рукописей,
направляемых в научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»
(входит в перечень ВАК)**

Для публикации в Журнале принимаются рукописи по направлениям: **Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Математическое моделирование. Системы автоматизации проектирования; Экономика и Управление; Вузовское и послевузовское образование; Экология и эргономика.**

Рукопись должна быть оригинальной, не опубликованной ранее в других печатных изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к рассмотрению не принимаются. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы.

Редколлегия рекомендует авторам:

- в рукописи должна содержаться постановка **научной задачи (проблемы)**, быть определено место полученных результатов среди научных публикаций по данной проблематике, описание применяемого научного аппарата, библиографические ссылки и выводы исследования.

- структурировать рукопись, используя подзаголовки: **введение; основная часть, выводы, литература** и т.п.. Части статьи озаглавливаются (шрифт полужирный, 10 пт).

В редакцию необходимо предоставить следующие материалы:

- текст рукописи на русском языке в электронной и бумажном виде. (в редакторе Microsoft Office Word 2003 – шрифт "Arial" (10 пт), отступ первой строки 0,6 см., межстрочный интервал одинарный. с подписью авторов, с фразой: **«статья публикуется впервые» и датой;**

- **Регистрационная карта автора:** фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, название организации, служебный адрес, телефон, e-mail;

- Материалы для размещения в базе данных **РИНЦ;**

- **Рецензию** доктора наук, заверенная в отделе кадров той организации, в которой работает рецензент;

- **Экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати;

- **Лицензионный договор** между ФГБОУ ВПО «СибАДИ» и авторами;

- **Справка о статусе / месте учебы** (если автор является аспирантом).

Правила оформления рукописи:

Объем рукописи должен быть не менее **5 страниц** и не должен превышать **7 страниц, включая таблицы и графический материал.** Рукопись должна содержать не более 5 рисунков и (или) 5 таблиц. Количество авторов не должно превышать четырех человек. Формата А4, шрифт "Arial" (10 пт), отступ первой строки 0,6 см., межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.)

Заголовок. На первой странице указываются: индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт) – слева в верхнем углу; Далее по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами печатается название статьи, ниже обычным шрифтом (12 пт.) – инициалы, фамилия автора. Через строку помещается текст аннотации на русском языке, ещё через строку – ключевые слова.

Аннотация (на русском языке объемом до 7 строк). Начинается словом **«Аннотация»** с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт.); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт.). Аннотация не должна содержать ссылки на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.

Ключевые слова: помещаются после слов **ключевые слова** (ж, размер шрифта 10 пт), (двоеточие) и должны содержать не более 5 семантических единиц.

Основной текст рукописи набирается шрифтом 10 пт.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Информация о грантах приводится в виде сноски в конце первой страницы статьи.

Ссылки на литературные источники в тексте библиографический список оформляется общим списком в конце статьи (размер шрифта 9 пт.) на русском языке в

соответствии с [ГОСТ Р 7.0.5-2008](#) - Библиографическая ссылка (Затекстовые библиографические ссылки); ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например [1]; в библиографическом списке приводятся только те источники, на которые есть ссылка в тексте, использование цитат без указания источника информации запрещается;

В конце рукописи, после библиографического списка, размещается:

Аннотация на английском языке. Название статьи (шрифт полужирный, 10 пт.) и авторы - инициалы, фамилия (шрифт обычный, 10 пт.), выравниваются по центру. Текст аннотации (шрифт 10 пт.) выравнивается по ширине.

После аннотации размещают **информацию об авторе** (*шрифт 9 пт. курсив*): фамилия, имя, отчество – ученая степень и звание, должность и место работы. Основное направление научных исследований, общее количество публикаций, а также адрес электронной почты.

Реферат статьи, предназначенный для публикации в реферативном журнале, составляется на русском и английском языках и помещается в отдельном файле.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул **Microsoft Equation**. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края строки.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисуночной подписью, и отдельными файлами с расширением (**JPEG, GIF, BMP**). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовки, Рис. 1. Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подрисуночные подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться лишь ссылки на них: **на рисунке 1.....**,

Рисунки и фотографии должны быть ясными и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Решение о принятии к публикации или отклонении рукописи принимается редколлегией. Редакция направляет авторам статьи, требующих доработки, письмо с текстом замечаний. Доработанная статья должна быть представлена в редакцию не позднее **двух недель**. К доработанной статье должно быть приложено письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и указывающее все изменения, сделанные в статье.

К публикации в одном номере издания принимается не более одной статьи одного автора.

Небольшие исправления стилистического и формального характера вносятся в статью без согласования с автором (-ами). При необходимости более серьезных исправлений правка согласовывается с автором (-ами) или статья направляется автору (-ам) на доработку.

Название файлов должно быть следующим: «Статья_Иванова_АП», «Рисунки_Иванова_АП», «РК_Иванова_АП», «РФ_ст_Иванова_АП»

Статьи, направляемые в редакцию, без соблюдения выше перечисленных требований, не публикуются.

Контактная информация:

e-mail: Vestnik_Sibadi@sibadi.org;

Почтовый адрес: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Редакция научного рецензируемого журнала «Вестник СибАДИ»,

патентно-информационный отдел – каб. 3226

тел. (3812) 65-23-45, сот. 89659800019

Выпускающий редактор «Вестника СибАДИ» - Юренко Татьяна Васильевна

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Статьи аспирантов публикуются бесплатно.

Информация о научном рецензируемом журнале «Вестник СибАДИ» размещена на сайте: <http://vestnik.sibadi.org>

ВЕСТНИК СИБАДИ

Выпуск 3 (31) - 2013

Главный редактор

В. Ю. Кирничный
Ректор ФГБОУ ВПО «СИБАДИ»

Заместитель главного редактора

В. В. Бирюков
Проректор по научной работе

Информация о научном рецензируемом журнале
«Вестник СИБАДИ» размещена на сайте:
<http://vestnik.sibadi.org>

Контактная информация: e-mail: **Vestnik_Sibadi@sibadi.org**;
Почтовый адрес: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5.
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия.
Редакция журнала «Вестник СИБАДИ»,
патентно-информационный отдел – каб. 3226. тел. (3812) 65-23-45

Компьютерная верстка
Юренко Т.В.

Ответственный за выпуск
Юренко Т.В.

Печать статей произведена с оригиналов,
подготовленных авторами.

Подписано в печать 18. 04. 2013 г.
Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial
Печать оперативная. Бумага офсетная
Усл. печ. л. 17,75. Тираж 500 экз.

Отпечатано в подразделении оперативной полиграфии УМУ ФГБОУ ВПО СИБАДИ
Россия, 644080, г. Омск,
пр. Мира, 5