

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

# **ВЕСТНИК СибАДИ**

Выпуск 5 (51)

Омск  
2016

*Главный редактор Жигadlo А.П.*, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ»  
*Зам. главного редактора Корчагин П.А.*, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ»

**Редакционная коллегия:**

**Ваклав Скала**, профессор University of West Bohemia, Чехия, г. Пльзень

**Винников Ю.Л.**, д-р техн. наук, проф. Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, член Украинского общества механики грунтов, геотехники и фундаментостроения, Российского общества по механике грунтов, геотехники и фундаментостроению, ISSMGE, IGS, действительный член Академии строительства Украины, Украина, г. Полтава.

**Горынин Г.Л.**, д-р физ.-мат. наук, проф., ГБОУ ВПО «СурГУ ХМАО-ЮГРЫ», г. Сургут.

**Жигadlo А.П.**, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Жусупбеков А.Ж.**, Вице – Президент ISSMGE по Азии, Президент Казахстанской геотехнической ассоциации, почетный строитель Республики Казахстан, директор геотехнического института, заведующий кафедрой «Строительства» ЕНУ им Л.Н. Гумилева, член-корреспондент Национальной Инженерной Академии Республики Казахстан, д-р техн. наук, проф., г. Астана, Казахстан.

**Карл – Хейнц Ленц**, д-р инженер, Германия, Bundesanstalt für Straßenwesen (Karl – Heinz Lenz, President and professor D., Prof. e. h. mult. Dr-Ing, Bundesanstalt für, Germany).

**Карпов В.В.**, д-р экон. наук, проф., директор Омского филиала ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Омск.

**Кенджирос Судзуки**, профессор Национального университета, почетный профессор университета Токио, Япония.

**Лим Донг Ох**, доктор инженерных наук, профессор, Президент Университета Джунгбу, г. Сеул, Южная Корея.

**Лис Виктор**, канд. техн. наук, инженер - конструктор специальных кранов фирмы Либхерр - верк Биберах ГмбХ (Viktor Lis Dr-Ing. (WAK), Libherr-Werk Biberach GmbH), Mittelbiberach, Германия.

**Матвеев С.А.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Мочалин С.М.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Немировский Ю.В.**, д-р физ.-мат., наук, проф., главный научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

**Подшивалов В.П.**, д-р техн. наук, проф., Белорусского национального технического университета г. Минск, Республики Беларусь.

**Хмара Л.А.**, д-р техн. наук, проф., Приднепровской государственной академии Строительства и Архитектуры, заслуженный изобретатель Украины, академик Академии Строительства и Архитектуры Украины, г. Днепрпетровск, Украина.

**Щербakov В.С.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Эдвин Козневски**, д-р техн. наук, проф., Польша, г. Белосток (Edwin Kozniewski - doctor of technical science, associate professor, Bialystok University of Technology, Bialystok, Poland).

*Editor-in-Chief – Zhigadlo A.P.*, doctor of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor, rector of The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI)

*Deputy editor-in-chief – Korchagin P.A.*, doctor of technical sciences, professor, pr or-rector for scientific research of The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

**Members of the editorial board:**

**Vaclav Skala** professor Ing. University of West Bohemia, Pilsen (Pilsen), Czech Republic

**Vinnikov Y.L.**, doctor of technical sciences, professor of the Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratyuk, a member of the Ukrainian Society of soil mechanics, geotechnics and foundation engineering, the Russian Society for soil mechanics, geotechnics and foundation engineering, ISSMGE, IGS, a member of the Academy of Construction of Ukraine, Ukraine, Poltava.

**Gorynin G.L.**, doctor of physical and mathematical sciences, professor, of the Surgut State University, Surgut.

**Zhigadlo A.P.**, doctor of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, a ssociate professor of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

**Zhusupbekov A.Z.**, Vice – President of ISSMGE in Asia, P President of Kazakhstan Geotechnical Association, honorary builder of the Republic of Kazakhstan, director of the Geotechnical Institute, head of the department "Construction" of L.N. Gumilyov Eurasian National University, corresponding member of the National Academy of Engineering of the Republic of Kazakhstan, doctor of technical sciences, professor, Astana, Kazakhstan.

**Karl – Heinz Lenz**, President and professor a. D., Prof. e. h. mult. Dr-Ing, Bundesanstalt für, Germany.

**Karpov V.V.**, doctor of economic sciences, professor, director of the Omsk branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Omsk.

**Kenjiro Suzuki** professor of National Institution for Academic Degrees and University Evaluation, and professor Emeritus of The University of Tokyo, Japan

**Lim Dong Okh**, doctor of engineering sciences, professor, President of the Goongbu University, Seoul, South Korea.

**Lis Victor**, candidate of technical sciences, design-engineer of special cranes of Libherr - Werk Biberach GmbH (Viktor Lis Dr-Ing. (WAK), Libherr-Werk Biberach GmbH), Mittelbiberach, Germany.

**Matveev S.A.**, doctor of technical sciences, professor of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

**Mochalin S.M.**, doctor of technical sciences, professor of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

**Nemirovskiy Y.V.**, doctor of physical and mathematical sciences, professor, chief research worker of the Christianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk.

**Podshivalov V.P.**, doctor of technical sciences, professor of the Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus.

**Khmara L.A.**, doctor of technical sciences, professor, of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture, Honored inventor of Ukraine, an academician of the Academy of Construction and Architecture of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

**Shcherbakov V.S.**, doctor of technical sciences, professor, of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI)

**Edwin Kozniewski** - doctor of technical sciences, a ssociate professor, Bialystok University of Technology, Bialystok, Poland.

**Адрес издателя:** 644080, г. Омск, просп. Мира. 5, патентно-информационный отдел, каб. 3226. Тел. (3812) 65-23-45.

e-mail: [Vestnik\\_Sibadi@sibadi.org](mailto:Vestnik_Sibadi@sibadi.org)

**Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ».**

**Адрес учредителя:** 644080, г. Омск, просп. Мира. 5.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-50593 от 11 июля 2012 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» входит в перечень ведущих периодических изданий рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; с 01.12. 2015 г. включен в новый список в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793. С 2009 года представлен в Научной Электронной Библиотеке [elIBRARY.RU](http://elibrary.ru) и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Входит в международный каталог [Ulrich's International Periodicals Directory](http://Ulrich's International Periodicals Directory).

**Подписной индекс** 66000 в каталоге агентства "РОСПЕЧАТЬ". Редакционная коллегия осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

**Исполнительный редактор** канд. техн. наук, доц. М. Ю. Архипенко; **Выпускающий редактор** М.С. Мороз

Подписано в печать 30.11.2016 г. Дата выхода в свет 30.11.2016. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial

Печать оперативная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 12,85. Тираж 500 экз. Заказ № 182

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии ИПЦ ФГБОУ ВО СибАДИ 644080, г. Омск, пр. Мира, 5

Печать статей произведена с оригиналов, подготовленных авторами

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ I

#### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>С.Н. Жеребцов, Е.А. Чернышов, А.А. Александров, В.И. Гурдин</b> Технология электрошлакового кокильного литья машиностроительных изделий	7
<b>В.В. Захаров</b> Математическая модель движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой	14
<b>М.С. Корытов, В.С. Щербаков, Р.Ю. Сухарев</b> Способ определения координат дорожных и строительных машин на поверхности Земли на основе расстояний до трех спутников	18
<b>А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев</b> Определение рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом	25
<b>В. Лис, Ю.Е. Пономаренко</b> Методика прочностного расчёта вала раскатывающего проходчика скважин	34
<b>В.В. Харламов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов</b> Методика определения мощности и математическое моделирование физических процессов при испытании асинхронных тяговых двигателей методом взаимной нагрузки	42

### РАЗДЕЛ II

#### ТРАНСПОРТ

<b>Д.С. Алешков, Н.Ю. Аюпова</b> Экспериментальные исследования физической модели питателя фрезерно-роторного снегоочистителя	49
<b>Е.В. Будрина, А.С. Лебедева</b> Исследование инновационных систем оплаты проезда на общественном транспорте	54
<b>В.Р. Ведрученко, А.Л. Иванов, В.А. Борисов, П.В. Литвинов</b> Влияние материала поршня на процесс сгорания топлива в двигателе	61
<b>В.А. Городокин, З.В. Альметова, Е.В. Шепелева</b> Методика расчета и установления приоритета при проезде регулируемого перекрестка в интервале смены разрешающего сигнала светофора на запрещающий	68
<b>И. А. Козлов, В.В. Евстифеев, Р.Ш. Айтыков, Ж.Г. Оспанов</b> Разработка мобильного комплекса с газогенераторной установкой	76
<b>С.В. Сорокин, М.Е. Каспер</b> Исследование показателей работы общественного транспорта г. Омска	82
<b>А.Н. Чебоксаров</b> Достоверность как критерий эффективности диагностирования транспортных и технологических машин	89

### РАЗДЕЛ III

#### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<b>Ю.В. Краснощеков, В.И. Саунин</b> Экспериментальные исследования взаимодействия элементов сборных железобетонных перекрытий	95
<b>И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина</b> Технология производства пенобетона на композиционном вяжущем с золой гидроудаления	101
<b>А.А. Лунев, В.В. Сиротюк, Н.С. Безделов</b> Сопоставление методов оценки устойчивости высокой насыпи из золошлаковой смеси	106
<b>Ю.В. Немировский, А.И. Болтаев</b> Особенности расчёта деревожелезобетонного балочного моста	114

<b>Ю.В. Столбов, С.Ю. Столбова, Л.А. Пронина, И.Е. Старовойтов</b> Анализ методов расчета допусков на геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог для обеспечения их высотного положения	124
<b>Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова</b> Экспериментальное определение глубины погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой горной дороги Кыргызстана	130
<b>В.А. Уткин, Н.В. Синиговская</b> Исследование несущей способности составных прогонов из бревен с соединениями на глухих цилиндрических нагелях, защемленных в стальных пластинах	134

**РАЗДЕЛ IV  
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

<b>Д.Б. Абрамов, С.О. Баранов, С.В. Лейхтер</b> Метод решения задач инвариантного сравнения двумерных замкнутых кривых	145
---	-----

**РАЗДЕЛ V  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<b>Е.Е. Голова, Е.А. Дмитренко</b> Специфика аудита движения материальных ценностей в сельскохозяйственных организациях	151
<b>В.В. Карпов, А.Ю. Лагздин К.К. Логинов</b> Оценка эффективности муниципальных программ с применением компонентного анализа	156
<b>Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, Ю.П. Миронова, М.П. Миронова</b> Влияние изменения экономических показателей региона на уровень автомобильных перевозок	164
<b>С.Е. Метелёв, К.Н. Полещенко, Д.Н. Коротаев</b> Концепция влияния логистики на формирование регионального информационно-инновационного пространства	170
<b>О.Ю. Патласов, И.С. Калмыков</b> Запрет деструктивного поведения и моббинга персонала в этических документах российских организаций	178

## CONTENTS

### PART I TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

<b>S.N. Zherebtsov, E.A. Chernyshov, A.A. Aleksandrov, V.I. Gurdin</b> Technology electroslag chill casting engineering products	7
<b>V.V. Zakharov</b> Mathematical model of motion of a military tracked vehicle with combined power installation	14
<b>M.S. Korytov, V.S. Scherbakov, R.Y. Suharev</b> Method for determining coordinates road and building cars on earth's surface at a distance basis until three satellites	18
<b>A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev</b> Determination of rational number suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive	25
<b>V.Lis, Y.E. Ponomarenko</b> A method for strength calculation of a shaft of wells' sinker	34
<b>V.V. Kharlamov, D.I. Popov, A.V. Litvinov</b> Method of determining power and mathematical modeling of physical processes in testing traction induction motors by mutual loads	42

### PART II TRANSPORT

<b>D.S. Aleshkov, N.Y. Ayupova</b> Results of pilot studies of physical model of a feeder of a milling and rotor snowplow	49
<b>E.V. Budrina, A.S. Lebedeva</b> Research innovative sistem a payment drive on public transport	54
<b>V.R. Vedruchenko, A.L. Ivanov, V.A. Borisov, P.V. Litvinov</b> The influence of piston materials on combustion process in internal combustion engines	61
<b>V.A. Gorodokin, Z.B. Almetova, E.V. Shepeleva</b> The method of calculation and priority when crossing controlled intersection in the interval shifts permitting traffic light signal prohibiting	68
<b>I.A. Kozlov, V.V. Evstifeev, R.Sh. Aytykov, J.G. Ospanov</b> Development of mobile complex with the gas generator	76
<b>S.V. Sorokin, M.E. Kasper</b> Research of the indicators of omsk public transport	82
<b>A.N. Cheboksarov</b> Reliability as a criterion of efficiency of diagnostics of transport and technological machines	89

### PART III CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<b>Y.V. Krasnoshchekov, V.I. Saunin</b> Experimental studies of interaction basic shapes made from concrete	95
<b>I.N. Kuznetsova, M.A. Raschupkina</b> Technology of foam concrete on composite knitting with hydroremoval ashes	101
<b>A.A. Lunev, V.V. Sirotyuk, N.S. Bezdlov</b> Comparison of methods for evaluating of slope stability on high embankment built with the use of bottom ash	106
<b>Yu.V. Nemirovskiy, A.I. Boltaev</b> Calculation of wood reinforced concrete girder bridge	114

<b>YU.V. Stolbov, S.YU. Stolbova, L.A. Pronina, I.E. Starovoytov</b>	
Analysis methods of calculation for tolerance geodetic works in road construction to ensure set their altitude provisions	124
<b>J.J.Turgumbaev, Zh.T.Gaparova</b>	
Experimental determination of the depth of heated rocky particles immersion in the ice layer of kyrgyzstan mountain road	130
<b>V.A .Utkin, N.V Sinigovskaya</b>	
Study of carrying capacity of compound girders made of logs with boundings on deaf cylindrical nog embeded in steel plates	134

**PART IV  
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

<b>D.B. Abramov, S.O. Baranov, S.V. Leykhter</b>	
Application of pso for solving problems of invariant comparisonof two-dimensional closed curve	145

**PART V  
ECONOMICS**

<b>E.E. Golova, E.A. Dmitrenko</b>	
Specifics of audit of the movement of material values in the agricultural organizations	151
<b>V.V. Karpov, A.Yu. Lagzdin, K.K. Loginov</b>	
Evaluation of municipal programs efficiency with using of component analysis	156
<b>T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, Y.P. Mironova, M.P. Mironova</b>	
The effect of changes in the economic performance of the region on the level of road transport	164
<b>S.E. Metelyov, K.N. Poleshchenko, D.N. Korotaev</b>	
Intellectual logistics in forming of regional information and innovative space	170
<b>O.Yu. Patlasov, I.S. Kalmykov</b>	
Ban destructive behavior and mobbing staff ethical documents of russian organizations	178

# РАЗДЕЛ I

## ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.74.043:669.187.56

### ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.Н. Жеребцов<sup>1</sup>, Е.А. Чернышов<sup>1</sup>, А.А. Александров<sup>2</sup>, В.И. Гурдин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет (НГТУ)»  
им. Р.Е. Алексеева, Россия, г. Нижний Новгород.

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Представлена новая технология производства машиностроительных изделий, включающая в себя электрошлаковую плавку расходуемого электрода в плавильной емкости, модифицирование расплава ультрадисперсными порошковыми комплексами и последующую заливку его совместно со шлаком в металлическую литейную форму. Приведены сравнительные результаты физико-механических свойств изделий полученных по различным технологиям литья, показана макро- и микроструктура литого металла изделий «Сердечник рогообразный» из жаропрочного литейного никелевого сплава.

**Ключевые слова:** электрошлаковое кокильное литье; никелевые сплавы; модифицирование; структура; механические свойства; жаропрочность; сердечник рогообразный.

#### Введение

В химической, нефтяной, газовой и других отраслях промышленности при монтаже трубопроводов, на магистральных линиях, технологических разводках цехов, компрессорных станций, широко используются изделия «Отводы» крутоизогнутые трубные изготавливаемые по ГОСТ 17375-2001 большой номенклатуры диаметров и с различной толщиной стенок. Данные изделия изготавливаются с помощью гидропресса, который проталкивает нагретые до высоких температур мерные трубные заготовки по специальному инструменту – протяжке. Главной деталью протяжки является изделие «Сердечник рогообразный», он работает при высоких температурах, в агрессивных газовых средах, испытывает большие механические нагрузки, воспринимаемые при движении отвода по сердечнику и поэтому должен изготавливаться из жаропрочного и жаростойкого материала [1, 2, 3].

Изделие протяжка состоит из трех частей – сердечник, проставка и хвостовик, соединенных при помощи сварки. Вследствие этого, в серийной технологии для изготовления

изделий «Сердечник рогообразный» используют хромоникелевые стали тип 25-20, (X23H18) обладающие хорошей свариваемостью. Однако механические и жаропрочные свойства таких материалов не обеспечивают высокую прочность и износостойкость сердечников, в результате чего их срок службы составляет 200-250 часов работы, что позволяет изготавливать всего 16000-18000 отводов.

Одной из проблем производства машиностроительных изделий является то, что в настоящее время основным процессом получения отливок из жаропрочных сплавов является литье по выплавляемым моделям в горячие керамические формы в вакуумных индукционных печах (ВИП), что обуславливает очень высокую трудоемкость изготовления изделия и крайне низкую рентабельность производства. Вместе с тем плохие литейно-технологические свойства таких сплавов и высокие требования к качеству отливок неизбежно влекут за собой низкий выход годного металла и высокий процент брака при использовании традиционных методов литья.

Из вышеизложенного следует, что проблема изыскания новых технологий получения деталей из жаропрочных сплавов требует своего решения [4, 5, 6]. В связи с этим были проведены исследования для

разработки новых технологий производства жаропрочных никелевых сплавов, создания и внедрения технологического оборудования для осуществления процесса электрошлакового кокильного литья (ЭШКЛ) (рис. 1).

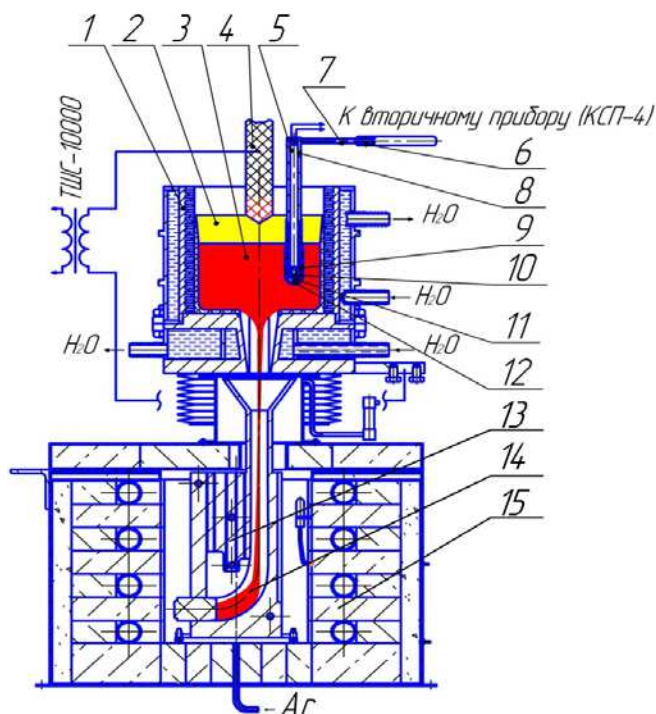


Рис. 1. Водоохлаждаемая автогарнисажная плавильная ёмкость в процессе электрошлакового кокильного литья (ЭШКЛ) изделия «Сердечник рогообразный» в среде защитного газа донным сливом в литейную форму, установленную в печи нагрева:

1. Водоохлаждаемая автогарнисажная плавильная емкость;
2. Жидкий электропроводный шлак
3. Жидкий металл;
4. Расходуемый электрод;
5. Термопара вольфрам-рениевая ВР 5-20;
6. Изолирующая рукоятка;
7. Стальная трубка;
8. Несущая трубка из жаропрочного сплава;
9. Защитный чехол из BNC
10. Алундовая соломка;
11. Порошок карбонитрида бора BNC;
12. Спай термопары вольфрам-рениевой ВР 5-20;
13. Литейная форма;
14. Отливка;
15. Печь нагрева литейной формы

Переплав расходуемого электрода, в качестве которого использовали прокат и отходы изделий от основного производства жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6-У (Х10Н58К10В11Ю6Т3М2Б), ЖС6-К (Х12Н60К5В5М5Ю6Т3), ЖС3-ДК (Х12Н62К10В4М4Ю4Т3), и т.д. начинали с жидкого старта и осуществляли под высоко-фторидным флюсом марки АНФ-21, АНФ-6 на установке А-550У, УШ-148 с источником питания ТШС-3000-1, ТШС-10000-1.

В качестве тигля использовали новое разработанное плавильное оборудование – медная водоохлаждаемая плавильная емкость, которая обеспечивает «стерильные» условия плавки жаропрочных хромоникелевых сплавов. В связи со значительным «вторичным» окислением легирующих элементов при разливке жаропрочных сплавов на воздухе, применили схему

донного слива расплава без промежуточных емкостей в литейную форму, которая устанавливалась по оси плавильной емкости под проплавленной пробкой-затравкой. Для этого использовали сливное устройство, состоящее из медного водоохлаждаемого поддона со сквозным конусным отверстием, в котором устанавливается токоподводящая пробка-затравка из того же материала, что и расходуемый электрод. В центральной части пробки имеется глухое отверстие, в которое устанавливается охлаждающий элемент. После накопления требуемой массы расплава, охлаждающий элемент выводится из пробки, перемычка между отверстием и расплавом перестает охлаждаться, под действием тепла проплавляется и происходит слив расплава в форму. Перед заливкой металла в литейную форму подается



газ аргон, который тяжелее воздуха, в связи с чем происходит вытеснение воздуха из литейной формы. Так как аргон является инертным газом, то окисления жидкого металла в литейной форме не происходит.

Технология изготовления изделия «Сердечник рогообразный» включает:

плавку расходуемого электрода в плавильной емкости под слоем флюса;

- модифицирование ультрадисперсными порошковыми комплексами (УДПК);

- накопление необходимого количества металла по весу отливки;

- выдержку расплава в плавильной емкости по времени с заданными температурами согласно разработанной технологии высокотемпературной обработки расплава (ВТОР);

- последующую заливку расплава совместно со шлаком в металлическую литейную форму (кокиль) повторяющую наружные контуры отливаемого изделия;

- выдержку, охлаждение, разборку литейной формы и очистку изделия от защитного шлакового гарнисажа.

В процессе экспериментальных плавок проведены прямые замеры температуры жидкого металла и шлака на протяжении всего процесса ЭШКЛ, расходуемого электрода из сплава ЖС6-У, ЖС6-К, ЖС3-ДК в медной водоохлаждаемой автогарнисажной плавильной емкости. В результате проведенных исследований установлена возможность высокотемпературной обработки расплава при осуществлении процесса заливки изделия «Сердечник рогообразный» методом донного слива в керамические и металлические литейные формы.

В последнее время для повышения качества литого металла изделий из жаропрочных сплавов применяют

модифицирование тугоплавкими частицами. Для выбора оптимального химико-физического состава модификатора выполнена полная серия экспериментов, в которых эффективность вида, размер и количество тугоплавких УДП частиц, а также количество активирующей добавки – титана, оценивали по результатам влияния на физико-механические свойства литого металла [7, 8, 9].

В результате экспериментов установлено, что для никелевых сплавов наиболее рационально использовать модификатор, содержащий 0,025% УДП частиц порошка карбонитрида титана (TiCN) и 0,2% порошка титана (Ti) из расчета на массу обрабатываемого расплава, что позволяет эффективно и целенаправленно воздействовать на микро- и макроструктуру, получать мелкое равноосное зерно по всему объему отливки с высокими физико-механическими свойствами изделия.

Модификатор вводили при различных температурах расплава - 1910 °С, 1830 °С, 1720 °С, 1650 °С за 2 ÷ 3 минуты до слива, что обеспечивало равномерное распределение дисперсных частиц-инокуляторов по всему объему жидкого металла в плавильной емкости. Заливку приготовленного жидкого металла и шлака в металлическую литейную форму-кокиль, повторяющую наружные контуры отливаемого изделия, проводили при различных температурах 1900÷1850 °С, 1830÷1740 °С, 1700÷1600 °С, 1580÷1440 °С.

Практические результаты разработанной технологии электрошлакового кокильного литья изделий «Сердечник рогообразный», по схеме донного слива расплава в металлический кокиль, повторяющий контур отливаемого изделия представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рис. 2. Разобранный кокиль с отливкой (а) и внешний вид литых сердечников (б)

После заливки расплава литейная форма отсоединяется от плавильной емкости и переносится кран-балкой на площадку, где происходят окончательная кристаллизация отливки и ее остывание. После этого форма разбирается и из нее извлекается литая заготовка. На рис. 2 показаны разобранный кокиль с отливкой в гарнисаже (см. рис. 2,а) и внешний вид получаемых сердечников (см. рис. 2,б). Наружная поверхность отливки получается ровная, шлаковый гарнисаж составляет около 0,5-1,5 мм, что обеспечивает возможность получения небольшого припуска на дальнейшую механическую обработку. Из полученных по разработанной технологии ЭШКЛ отливок изготавливали образцы для проведения физико-механических испытаний и металлографических исследований.

Сплавы ЖС6-У, ЖС6-К, ЖС3-ДК и т.д. относятся к группе литейных сложнолегированных многокомпонентных жаропрочных сплавов, в которых наряду со значительным размером макрозерна и с большой разноточностью кристаллов при кристаллизации образуются различные фазы: твердые растворы, эвтектические системы, карбиды, интерметаллические соединения.

Поскольку структурное состояние литых сплавов определяется химическим и фазовым составом, а жаропрочные сплавы типа ЖС имеют свои особенности, то главными фазами в сплавах рассматриваемого типа являются: аустенитная матрица ~ 38–50%; упрочняющая  $\gamma'$ -фаза ~ 48–60%; карбиды ~ 1,8–2%. Аустенит этих сплавов состоит из никеля, кобальта, хрома и тугоплавких элементов: молибдена, вольфрама, тантала

и др. Основной упрочняющей фазой в никелевых жаропрочных сплавах является  $\gamma'$ -фаза, представляющая собой интерметаллид  $Ni_3(Al, Ti)$  с ГЦК решеткой, обладающая высокими физико-химическими свойствами.

Закономерности изменения механических и эксплуатационных свойств, повышающих качество литого металла, связаны с формированием дисперсной первичной структуры, уменьшением химической, физической и структурной неоднородностей, изменением термодинамических и кинетических параметров фазовых превращений. Оптимальное сочетание высоких механических и эксплуатационных свойств изделий должна обеспечивать структура, имеющая мелкое равноосное зерно по всему сечению литого металла, глобулярную форму и равномерное выделение первичных карбидов, однородную дисперсную упрочняющую фазу. Существующие электрошлаковые технологии не обеспечивают получение таких характеристик, поскольку не предусматривают возможность управления процессами зарождения и роста фаз в процессе кристаллизации.

В качестве оптимизируемых технологических параметров ЭШКЛ были взяты: температура перегрева расплава (ВТОР), температура ввода УДПК в расплав, температура заливки, время выдержки от момента ввода модификатора до заливки и количество вводимых УДПК. Сравнительные результаты, приведенные в таблице 1, показывают влияние способа производства сплава ЖС6-У на его физико-механические свойства.

Таблица 1 – Результаты испытаний физико-механических свойств сплава ЖС6-У, полученного различными способами производства, при 975°C

Способ производства	Временное сопротивл. разрыву $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Относит. удлинение $\delta$ , %	Относит. сужение $\psi$ , %	KCU МДж/м <sup>2</sup>
ЭШКЛ	964/983	870/940	1,6/1,8	4,7/3,2	0,12/0,18
ЭШКЛ+УДПК+ВТОР	1132/1080	1052/1105	2,1/2,9	5,1/6,7	0,21/0,31
ВИП	810/870	720/760	0,9/1,1	2,2/2,7	0,04/0,12
ВИП+УДПК	945/980	780/820	1,4/1,8	3,3/4,2	0,10/0,14
ОСТ 90126-85 Паспорт	960	800	1,5	2,0	–

Изучение структуры литого немодифицированного электрошлакового металла (рис. 3) показывает, что его макроструктура транскристаллическая, состоящая из длинных узких столбчатых

кристаллов по периферии и равноосных в центре, что объясняется интенсивным отводом тепла металлическим кокилем.

Протяженность столбчатых зерен от 15 до 30 мм, диаметр зерен в центре от 6,0 до 10,0

мм (рис. 3, а). Микроструктура – аустенит с выделением карбидов, эвтектики и  $\gamma'$ -фазы. Наблюдается ликвация, связанная с образованием участков, состоящих из карбонитридов (Ti, Mo, W) (CN) и двойных карбидов типа  $(Ni, Cr)_3$   $(Mo, W)_3$  C. В

структуре видны иглообразные строчечно-сеточные включения карбидов, располагающиеся преимущественно по границам зерен и имеющие большую протяженность (рис. 3, б).

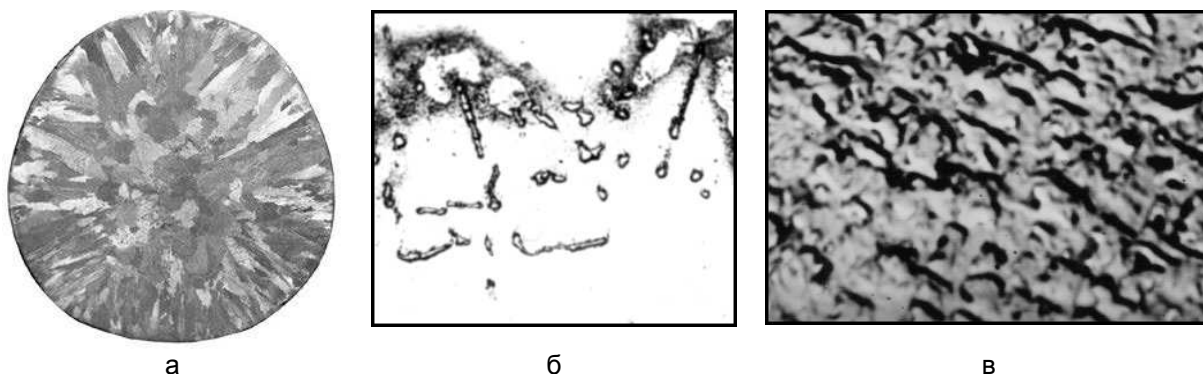


Рис. 3. Структура изделия «Сердечник рогообразный» из немодифицированного сплава ЖС6-У: а – макроструктура (x1); б – микроструктура (x240); в –  $\gamma'$ -фаза (x10000)

Изучение структурных превращений в изделиях, прошедших практические и стендовые испытания в результате эксплуатации при высоких температурах свыше 850 °С, показало, что упрочняющая  $\gamma'$ -фаза  $Ni_3(Ti, Al)$  имеет хаотично расположенные округлые формы, чаще неправильной конфигурации. Размер частиц нестабилен – от 0,3 до 1,2 мкм (рис. 3, в). Это говорит о том, что имеет место ее коагуляция и растворение в  $\gamma$ -твердом растворе. Кроме того, наблюдаются выделения пластинок  $\eta$ -фазы типа  $Ni_3Ti$ , что говорит о начале перерождения  $\gamma'$ -фазы в  $\eta$ -фазу. Процесс перерождения протекает по общей схеме: растворение частичек  $\gamma'$ -фазы и диффузия

атомов титана к растущей пластинке  $\eta$ -фазы. Игольчато-пластинчатая форма фаз способствует хрупкому разрушению сплава. Одновременно с этим, извлекая тугоплавкие элементы из твердого раствора, эти фазы ослабляют его [9, 10].

Введение в расплав 0,025 % модификатора УДПК приводит к существенному изменению как полученной макро- и микроструктуры, так и морфологии, и топографии выделяющихся фаз: происходит резкое измельчение макрозерна, при этом столбчатость зерен и разносторонность практически устраняются (рис. 4, а).

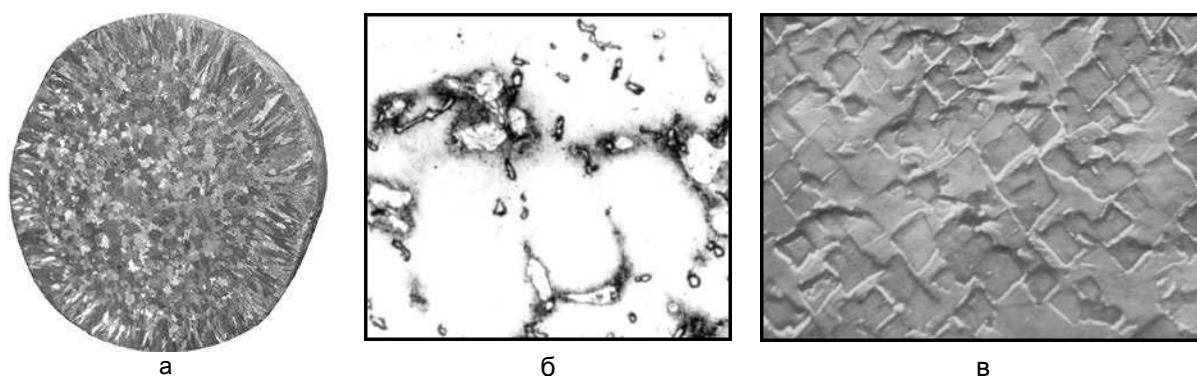


Рис. 4. Структура изделия «Сердечник рогообразный» из модифицированного сплава ЖС6-У: а – макроструктура (x1); б – микроструктура (x240); в –  $\gamma'$ -фаза (x10000)

Модификатор положительно влияет на морфологию карбидов, придавая

выделениям дискретный характер. Карбиды приобретают компактную равноосную форму.

Граница зерна имеет вид извилистой линии, огибающей частицы, расположенные в матрице сплава. Дендритная структура литого металла тонкая и однородная по сечению слитка (рис. 4, б). Имеют место существенные изменения в положительную сторону строения микроструктуры, как матрицы сплава, так и упрочняющей  $\gamma'$ -фазы. Она приобретает прямолинейные очертания, близкие к кубической форме и упорядоченное расположение (рис. 4, в). Такое состояние структуры говорит о том, что границы зерен «закреплены» частицами и поэтому их миграция при нагреве незначительна, а, следовательно, физико-механические свойства при высоких температурах, жаропрочность и жаростойкость, более высокие по сравнению с исходным сплавом.

С применением разработанной технологии электрошлакового кокильного литья организовано производство изделий «Сердечник рогообразный», для выпуска изделий «Отводов» различных диаметров и типоразмеров по ГОСТ 17375-83. Промышленные испытания показали существенное повышение срока службы изделий «Сердечник рогообразный» в составе протяжки, что позволяет изготавливать 30000-50000 отводов.

### Заключение

Разработаны и внедрены в производство технические предложения по выполнению конструктивных схем оборудования и оснастки, необходимых для осуществления этого процесса. Разработанная технология ЭШКЛ с модифицированием жидкого металла УДПК позволила значительно снизить выход из строя изделий в процессе эксплуатации при высоких температурах до 1050°C и агрессивных газовых средах по причине разрушения основного литого изделия по сравнению с традиционными способами литья.

Стойкость изделий «Сердечник рогообразный», изготовленных по разработанным технологиям ЭШКЛ, увеличилась в 2,2–3,4 раза, что позволяет изготавливать свыше 30000 изделий «Отвод» ГОСТ 17375–2000.

В целом, при использовании научных разработок в заготовительном производстве изделий ответственного назначения удалось достичь высокого коэффициента использования металла (до 0,6–0,8), и в 1,8–3,2 раза снизить трудоемкость их изготовления.

### Библиографический список

1. Гальперин, А.И. Машины и оборудование для изготовления криволинейных участков трубопроводов / А.И. Гальперин. – М. : Недра, 1983. – 203 с.
2. Шувалов, Ю.Б. Горячая протяжка крутоизогнутых отводов на полых рогообразных сердечниках / Ю.Б. Шувалов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1991. – № 2. – С. 36–37.
3. Химушин, Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы / Ф.Ф. Химушин. – М. : Металлургия, 1969. – 752 с.
4. Патон, Б.Е. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар. – Киев : Наук. думка, 1988. – 214 с.
5. Башнин, Ю.А. Влияние переплавных процессов на структуру и свойства стали / Ю.А. Башнин, В.Н. Исакина, Е.А. Масленкова. – М. : Metallurgia, 1991. – 240 с.
6. Кlicheвец, М.И. Электрошлаковая плавка жаропрочного никелевого сплава ХН73МБТЮ / М.И. Кlicheвец, А.В. Шелгаева, Г.Г. Ведерников // Специальная электрометаллургия. – 1980. – Вып. 41. – С. 60–68.
7. Бабаскин, Ю.З. Влияние добавок нитрида циркония на структуру и свойства сплава ЖС6К / Ю.З. Бабаскин, Л.Н. Лариков, С.Я. Шипицин, О.А. Шматко // Жаропрочные и жаростойкие сплавы на никелевой основе. – М. : Наука, 1984. – С. 184–187.
8. Чеченцев, В.Н. Объемное модифицирование никелевых сплавов при изготовлении отливок / В.Н. Чеченцев, В.П. Сабуров, Е.В. Замешаев, А.М. Микитась // Литейное производство. – 1988. – № 9. – С. 13–14.
9. Фаткулин, О.Х. Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицами тугоплавких соединений / О.Х. Фаткулин, А.А. Офицеров // Литейное производство. – 1993. – № 4. – С. 13–14.
10. Логунов, А.В. Прогнозирование влияния структурных факторов на механические свойства жаропрочных сплавов / А.В. Логунов, П.В. Петрушин, Е.А. Кукшова, Ю.М. Должанский // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1987. – № 6. – С. 16–20.

### TECHNOLOGY ELECTROSLAG CHILL CASTING ENGINEERING PRODUCTS

S.N. Zherebtsov, E.A. Chernyshov, A.A. Aleksandrov, V.I. Gurdin

**Abstract.** A new technology of production engineering products comprising electro slag melting the consumable electrode in the melting tank, the molten modifying ultra fine powder complexes and subsequently pouring it together with the slag in a metal mold. The comparative results of the physical and mechanical properties of products produced by various casting techniques, shows the macro- and microstructure of cast metal products "core horn-shaped" heat-resistant nickel alloy foundry.

**Keywords:** electroslag chill casting; nickel alloys; modification; structure; mechanical properties; heat resistance; horn-shaped core.

### References

1. Halperin A.I. Machinery and equipment for the production of curved pipe sections. M.: Nedra, 1983, 203 p.
2. Shuvalov Y.B. Hot broaching knuckle bends in the horn-shaped hollow cores. Chemical and petroleum engineering. 1991, № 2. pp. 36-37.
3. Khimushin F.F. Heat resistant steels and alloys. M.: Metallurgy, 1969. - 752 p.
4. Paton B.E., Medovar B.I. Electroslag crucible melting and casting metal. Kiev Sciences. Dumka, 1988, 214 p.
5. Bashnin, J.A., Isakin V.N., Maslenkova E.A. Influence pereplavnyh processes on the structure and properties of steel. - M.: Metallurgy, 1991, 240 p.
6. Klichevets M.I., Shelgaeva A.V., Vedernikov G.G. Electroslag Melting HN73MBTYU. Ni resistant nickel alloy. Special electrometallurgy, 1980, Vol. 41, pp. 60-68.
7. Babaskin YU.Z., Larikov L.N., Shipitsin S.J., Shmatko O.A. Influence of zirconium nitride additives on the structure and properties of the alloy ZhS6K. Heat-resistant and heat-resistant nickel-based alloys. M.: Nauka, 1984, pp. 184-187.
8. Chechens V.N., Saburov V.P., Knead E.V., Mikitas A.M. Obemnoe modification of nickel alloys in the manufacture of castings. Foundry, 1988, № 9, pp. 13-14.
9. Fatkulov O.H., Officerov A.A. Modification of heat-resistant nickel alloys dispersed particles of refractory compounds. Foundry, 1993, № 4, pp. 13-14.
10. Logunov A.V., Petrushin P.V., Kukshova E.A., Dolzhansky Y.M. Predicting the impact of structural factors on the mechanical properties of high-temperature alloys. Metallurgy and heat treatment of metals, 1987, № 6, pp. 16-20.

*Жеребцов Сергей Николаевич (Россия, Нижний Новгород) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Металлургические технологии и оборудование Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: s.n.zherebtsov@mail.ru).*

*Чернышов Евгений Александрович (Россия, Нижний Новгород) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлургические технологии и оборудование» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24).*

*Александров Александр Александрович (Россия, Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Строительные конструкции Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: omsk-aaa@rambler.ru).*

*Гурдин Виктор Иванович (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Эксплуатация и ремонт автомобилей Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).*

*Zherebtsov Sergey Nikolaevich - (Russian Federation, Nizhny Novgorod) - Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metallurgical technology and equipment of the Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseeva. (603950, Nizhny Novgorod, Minin st, 24, e-mail: s.n.zherebtsov@mail.ru).*

*Chernyshov Yevgeny Aleksandrovich - (Russian Federation, Nizhny Novgorod) - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgical Technology and Equipment Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseeva (603950, Nizhny Novgorod, Minin st., 24).*

*Aleksandrov Aleksander Aleksandrovich - (Russian Federation, Omsk) - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building structures Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira ave., 5, e-mail: omsk-aaa@rambler.ru).*

*Gurdin Viktor Ivanovich - (Russian Federation, Omsk) - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Maintenance and repair of motor vehicles Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira ave, 5).*

УДК 681.51.013 + 629.114.2:51

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЕННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Захаров В.В.

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии  
А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** *Статья посвящена исследованиям процесса движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой. Предлагаемая математическая модель позволяет исследовать криволинейное, управляемое движение военной гусеничной машины и ее элементов: двигателя внутреннего сгорания, генератора, тяговых электродвигателей. Реализация предложенной математической модели, позволяет наиболее точно определять основные параметры комбинированной энергосиловой установки военной гусеничной машины.*

**Ключевые слова:** *военная гусеничная машина, подвижность, накопитель энергии, тяговые электродвигатели.*

#### Введение

Как известно, одним из основных боевых свойств является подвижность. В современных условиях значение подвижности все больше увеличивается, так как, боевые действия приобретают преимущественно маневренный характер и роль передвижений войск, в том числе маршей на большие расстояния, непрерывно возрастает [1]. Подвижность характеризуется такими основными свойствами как быстроходность, автономность и проходимость. Основную роль в обеспечении данных свойств подвижности играет силовая установка и трансмиссия. На сегодняшний день, разработка новых технологий в области моторно-трансмиссионных установок (МТУ) концентрируется, прежде всего, на работах по созданию комбинированных силовых установок с электротрансмиссией и накопителями электрической энергии. [2] Именно такие МТУ позволяют существенно улучшить основные эксплуатационные характеристики и показатели подвижности. Однако, несмотря на этот факт, в данной области остается много нерешенных вопросов, одним из которых является отсутствие устоявшейся методики обоснования и расчета параметров комбинированной энергосиловой установки (КЭСУ) для военных гусеничных машин (ВГМ). Применяемые при исследованиях математические модели, как правило, направлены на детальную проработку одного из элементов КЭСУ, при этом значения остальных ключевых составляющих упрощаются.

КЭСУ представляет сложную систему устройств, находящихся в тесной

взаимосвязи и функционирующих как единое целое. Подход к вопросу обоснования мощностных параметров основных элементов КЭСУ (ДВС, ТЭД, Г и НЭ), а так же, в обеспечении оптимальности режимов их совместной работы, требует большого объема расчетных исследований в процессе проектирования. Поэтому актуален вопрос разработки математических моделей, описывающих движение ВГМ с КЭСУ в различных режимах.

#### Математическая модель движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой

В движении гусеничная машина как динамическая система находится под действием внешних и внутренних возмущений, которые условно делятся на две группы: внешние условия, характеризующиеся состоянием поверхности участка пути; внутренние условия характеризуются воздействием водителя на органы управления. Моделирование движения ВГМ с КЭСУ предполагает наличие значений крутящих моментов и сил, действующих на гусеничную машину. Определение внешних сопротивлений движению гусеничной машины связано с рассмотрением сил и моментов, действующих на нее, определяются по формулам классической теории движения гусеничной машины. Для более точного учета сил, действующих на машину, необходимо определить силовые факторы, которые возникают в контакте гусеницы с грунтом при повороте.

При решении дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся движение гусеничной машины на повороте,

силы и моменты в правых частях этих уравнений определены на основании расчетной схемы взаимодействия гусениц с грунтом по рисунку 1.

Согласно расчетной схеме положение

машины на плоскости задано двумя линейными координатами центра тяжести  $x_C$ ,  $y_C$  и курсовым углом  $\varphi$ , показывающим отклонение продольной оси машины от оси координат  $Y$ . [3, 4]

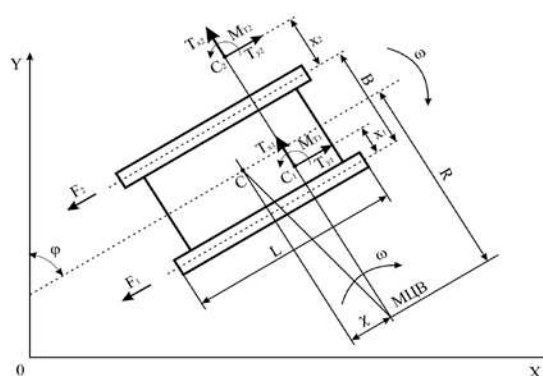
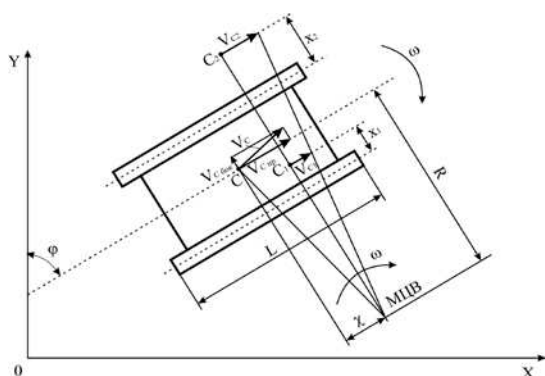


Рис. 1. Расчетная схема

Где  $X, Y$  – декартовы координаты,  $\varphi$  – курсовой угол, МЦВ – мгновенный центр вращения,  $F_1, F_2$  – силы сопротивления на отстающем и забегающем борту,  $V_C$  – линейная скорость центра тяжести,  $\chi$  – продольное смещение полюса поворота,  $L$  – продольная база машины,  $B$  – поперечная база машины,  $x_1$  – поперечное смещение полюса поворота отстающей гусеницы,  $x_2$  – поперечное смещение полюса поворота забегающей гусеницы,  $V_{C \text{ бок}}$  – составляющая  $V_C$ , направленная перпендикулярно оси корпуса машины,  $V_{C \text{ пр}}$  – составляющая  $V_C$ , направленная вдоль оси корпуса машины,  $T_{x1}$ ,  $T_{y1}$  – составляющие результирующей силы трения отстающей гусеницы о грунт,  $T_{x2}$ ,  $T_{y2}$  – составляющие результирующей силы трения забегающей гусеницы о грунт,  $M_{T1}$ ,  $M_{T2}$  – результирующие моменты трения отстающей и забегающей гусениц относительно полюсов поворота  $C_1$  и  $C_2$  соответственно,  $\omega = d\varphi/dt$  – угловая скорость поворота корпуса,  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  – скорости полюсов поворота отстающей и забегающей гусениц соответственно.

Основные уравнения связей, характеризующие взаимодействие гусениц с грунтом, перераспределение веса машины при повороте по бортам, формирование тяговых усилий на гусеницах, сопротивление прямолинейному движению и повороту ВГМ взяты из работ [5, 6].

1. Коэффициенты буксования  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  определяются выражениям [3]:

$$\sigma_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{\text{вк}} - x_C \sin \varphi - y_C \cos \varphi - \varphi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)}{\omega_1 \cdot r_{\text{вк}}}, \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\omega_2 \cdot r_{\text{вк}} - x_C \sin \varphi - y_C \cos \varphi + \varphi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)}{\omega_2 \cdot r_{\text{вк}}}, \quad (2)$$

где  $\omega_{1,2} = \frac{1}{(k+1)i_{\text{дн}}} \left( \frac{k}{i_3 i_k} \omega_T \mp \frac{1}{i_5} \omega_M \right)$  – угловые скорости вращения ведущих колес машины.

2. Зависимости  $T_{y1}(x_1, y)$ ,  $T_{y2}(x_2, y)$  взяты из работы [5].

3. Силы тяги на гусеницах заданы равными продольным составляющим сил трения гусеницы с грунтом  $P_1 = T_{y1}(x_1, y)$ ;  $P_2 = T_{y2}(x_2, y)$ .

Важным этапом исследования, является выбор базовой структурной схемы и схемы замещения КЭСУ. Разрабатываемая КЭСУ состоит из двигателя внутреннего сгорания (ДВС), общего генератора (Г), накопителя энергии (НИ) и двух бортовых тяговых вентильных электродвигателей (ТЭД), соединенных через редукторы с ведущими колесами. Все электрические машины имеют силовые преобразователи тока и напряжения. Структурная схема представлена на рисунке 2.

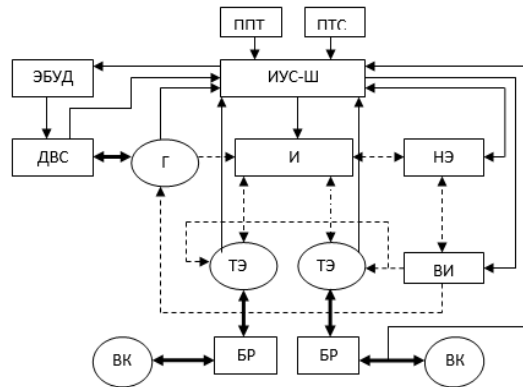


Рис. 2. Базовая структурная схема:

ВК – ведущие колеса; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ЭБУД – электронный блок управления двигателем; ИУС-Ш – информационно-управляющая система шасси; ППТ – педаль подачи топлива; ПТС – педаль тормозной системы; Г – генератор; И – инвертор с коммутатором цепей обмоток возбуждения; ВИ – вспомогательный инвертор; НЭ – накопитель энергии (тяговая аккумуляторная батарея или накопитель конденсаторного типа); ТЭД – тяговый электродвигатель; БР – бортовой редуктор. Жирными линиями обозначена механическая связь, пунктирными линиями обозначена электрическая связь, тонкими – сигналы системы управления

В результате соединения в систему перечисленных выше зависимостей сформулирована математическая модель движения ВГМ с КЭСУ, в виде шести дифференциальных уравнений второго порядка, описывающие движение корпуса машины, вращение валов ДВС, генератора и тяговых электродвигателей:

$$\frac{d^2 X_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \sin \varphi + R_o \cos \varphi] \frac{g}{G}; \quad (3)$$

$$\frac{d^2 Y_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \cos \varphi - R_o \sin \varphi] \frac{g}{G}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dT^2} = \left[ (P_2 - P_1 + Pf_1 - Pf_2) \frac{B}{2} - \text{sign} \frac{d\varphi}{dT} M_c \right] \frac{1}{J_c}; \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_n}{dT} = [M_{\partial} i_1 - M_{\text{эн}} i_2] \frac{1}{J_1}; \quad (6)$$

$$\frac{d\omega_{\text{эд1}}}{dT} = \left[ M_{\text{эд1}} - \frac{P_1 R_{\text{вк}}}{i_{\text{бн}}} \right] \frac{1}{J_2}; \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_{\text{эд2}}}{dT} = \left[ M_{\text{эд2}} - \frac{P_2 R_{\text{вк}}}{i_{\text{бн}}} \right] \frac{1}{J_3}. \quad (8)$$

В системе уравнений (3) – (8) использованы следующие обозначения:  $T$  – текущее время, с;  $X_c, Y_c$  – координаты центра тяжести машины, м;  $\varphi$  – курсовой угол, рад;  $\omega_e, \omega_{\text{эд1}}, \omega_{\text{эд2}}$  – частоты вращения генератора и тяговых электродвигателей, рад/с;  $G$  – вес машины, Н;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $P_1, P_2$  – силы тяги на ведущих

колесах, Н;  $Pf_1, Pf_2$  – сопротивление передвижению колес, Н;  $R_o$  – сила сопротивления боковому перемещению всех колес, определяемая как сумма поперечных составляющих сил трения колес о грунт;  $J_c, J_1, J_2, J_3$  – момент инерции корпуса относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, моменты инерции двигателя и генератора, бортовых электродвигателей с присоединенными к ним массами, кг·м<sup>2</sup>;  $M_c, M_d, M_{\text{гн}}, M_{\text{эд1}}, M_{\text{эд2}}$  – моменты сопротивления, двигателя, генератора, электродвигателей соответственно, Н·м;  $R_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м;  $i_k, i_1, i_2, i_{\text{бн}}$  – передаточные числа в трансмиссии.

Известны следующие уравнения связей для электрических машин [7, 8]:

– для генератора:

$$U_{\text{эн}} = E_{\text{эн}} - r_{\text{эн}} I_{\text{эн}}, \quad (9)$$

где  $r_{\text{эн}}$  – сопротивление в обмотке последовательного возбуждения генератора, Ом;  $U_{\text{эн}}$  – напряжение, выдаваемое генератором в сеть, В;  $E_{\text{эн}}$  – ЭДС генератора, В;

$$M_{\text{эн}} = \sqrt{3} k_{01} p w_1 \Phi \frac{U_r}{2R_1} = C_e \Phi_{\text{эн}} I_{\text{эн}}, \quad (10)$$

где  $M_{\text{эн}}$  – момент на валу генератора, Н·м,  $C_e$  – постоянная для данной машины



величина,  $\Phi_{гн}$  – магнитный поток, Вб,  $I_{гн}$  – ток, А,  $k_{01}$  – обмоточный коэффициент фазы,  $p$  – число пар полюсов ротора,  $w_1$  – число витков одной фазы;

$$E_{гн} = \sqrt{3}k_{01}p w_1 \Phi_{гн} \omega_{гн} = \Phi_{гн} C_e \omega_{гн}, \quad (11)$$

где  $\omega_{гн}$  – угловая скорость вращения вала генератора.

В соответствии со структурной схемой, определены уравнения равновесия в электрической системе на основании схемы замещения, представленной на рисунке 3.

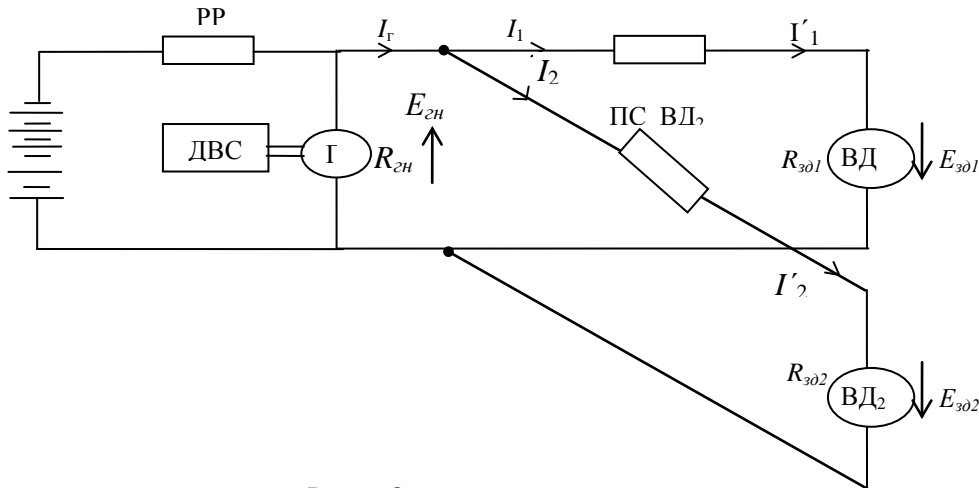


Рис. 3. Схема замещения электропривода

Основные соотношения между токами в ветвях определены на основании метода Максвелла:

$$I_{г} = I_1' + I_2'' + I_{НЭ} + U_{г} \frac{r_{гн} r_{э01} + r_{гн} r_{э02} + r_{э01} r_{э02}}{r_{гн} r_{э01} r_{э02}}, \quad (12)$$

$$U_{г} = \frac{\frac{E_{гн}}{R_{гн}} + \frac{E_{э01}}{R_{э01}} + \frac{E_{э02}}{R_{э02}} + \frac{E_{НЭ}}{R_{НЭ}}}{\frac{r_{гн} r_{э01} + r_{гн} r_{э02} + r_{э01} r_{э02}}{r_{гн} r_{э01} r_{э02}} + \frac{1}{R_{гн}} + \frac{1}{R_{э01}} + \frac{1}{R_{э02}} + \frac{1}{R_{НЭ}}}, \quad (13)$$

где  $r_{гн}, r_{э01}, r_{э02}$  – сопротивления обмоток параллельного возбуждения генератора и двух ТЭД,  $R_{гн}, R_{э01}, R_{э02}$  – сопротивления статорных обмоток генератора и двух ТЭД,  $R_{НЭ}$  – сопротивление НЭ.

#### Заключение

В результате проведенного исследования, определена структурная схема КЭСУ и схема замещения электропривода. Развита математическая модель движения ВГМ, состоящая из шести дифференциальных уравнений, описывающих движение машины в декартовых координатах, а также уравнений комбинированной энергосиловой установки,

полученных с использованием схемы замещения электропривода. Данная математическая модель позволит более точно проводить моделирование движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой, для определения наиболее рациональных значений параметров основных элементов КЭСУ.

#### Библиографический список

1. Алесаков, Ю.Ф. Перспективы техники и вооружения / Ю.Ф. Алесаков // Военная мысль. Военно-теоретический журнал. – 2011. – 3-1. – С. 31–35.
2. Лосик, О.А. Имеют ли танки будущее?/О.А. Лосик //Техника и вооружение. – 2006. – № 1.
3. Сергеев, Л.В. Теория танка / Л.В. Сергеев. – М. : Изд-во Академии бронетанковых войск, 1973. – 493 с.
4. Болдырев, Р.Н. Боковые нагрузки на опорные катки военной гусеничной машины в повороте / Р.Н. Болдырев, С.В. Кондаков // Вестник бронетанковой техники. – 1990. – № 12. – С. 29–32.
5. Кондаков, С.В. Имитационное моделирование движения быстроходной гусеничной машины с электрической трансмиссией / С.В. Кондаков, Б.Н. Гомберг, С.В. Кондаков, Л.С. Носенко, О.О. Павловская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 18. – № 37. – С. 26–31.

6. Кондаков, С.В. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем автоматизации системы управления криволинейным движением : монография / С.В. Кондаков. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2009. – 108 с.

7. Исаков, П.П. Электро-механические трансмиссии гусеничных тракторов / П.П. Исаков, П.Н. Иванченко, А.Д. Егоров. – Л. : Машиностроение, 1981. – 302 с.

8. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и приводы на их основе : курс лекций / И.Е. Овчинников. – СПб. : Корона-век, 2006. – 336 с.

### MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF A MILITARY TRACKED VEHICLE WITH COMBINED POWER INSTALLATION

V.V. Zakharov

**Abstract.** The article investigates the process of military tracked vehicle movement with a combined power plant. The proposed mathematical model allows to study curved, controlled movement of military tracked vehicle and its components: an internal combustion engine, the generator, the traction motors. Implementation of the proposed model approach, the most accurate method to determine the main parameters of the combined power plant, military tracked vehicle.

**Keywords:** military tracked vehicle mobility, energy storage, traction motors.

### References

1. Aleksakov Yu.F. Prospects of equipment and weapons / Yu.F. Aleksakov military thought. // Military-theoretical journal, 2011.- 3 -1- s. 31-35.

2. Losik O.A. Are tanks future? // Arms and equipment. 2006-№1.

3. Sergeev, L.V. Theory tank / L.V. Sergeev. - Moscow: Publishing House of the Academy of Armored Forces, 1973. - 493 p.

4. Boldyrev, R.N. Side loads on the bearing rollers military tracked vehicle in a turn / RNBoldyrev, S. Kondakov // Herald of armored vehicles. - 1990. - № 12. - s. 29-32.

5. Kondakov, S.V. Simulation of motion bystrohodoy tracked vehicle with electric transmission SV Kondakov, BN Gomberg, S.V. Kondakov, LS Nosenko, OO Pavlovskaya // Vestnik of SUSU. "Engineering" series. - 2012. - Vol. 18. - number 37 - Chelyabinsk: Acad. SUSU. - s. 26-31.

6. Kondakov, S.V. Increasing the mobility of high-speed tracked vehicle by automating the curvilinear motion control system: a monograph. - Chelyabinsk: Acad. South Ural State University, 2009. - 108 p.

7. Isakov, P.P. Electro-mechanical transmission track tractors / PP Isakov, PN Ivanchenko, A.D. Egorov. - L. : Engineering, 1981. - 302 p.

8. Ovchinnikov, I.E. Valve electric motors and drives on their basis / Lecture Course. - SPb. : Crown-Century, 2006. - 336 p.

*Захаров Виктор Викторович (Россия, г. Санкт-Петербург.) – адъюнкт, Военная академия МТО имени генерала армии А.В. Хрулева, (Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8, e-mail: autovic81@rambler.ru).*

*Zakharov Victor Yiktorovich (Russian Federation, Sankt-Peterburg) - an associate, Military Academy material and technical support named after General A.V.Hruleva Army. (Sankt-Peterburg, embankment Makarova 8, e-mail: autovic81@rambler.ru).*

УДК 621.396.96(075.8)

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТРЕХ СПУТНИКОВ

М.С. Корытов<sup>1</sup>, В.С. Щербаков<sup>1</sup>, Р.Ю. Сухарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Приводится описание способа определения координат точки на поверхности земли на основе расстояний до трех спутников. Способ предназначен для определения координат дорожных и строительных машин на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS. Использован математический аппарат однородных координат. Применяется прием замены исходной постановки задачи решений системы из трех уравнений сфер в декартовых координатах на упрощенную при помощи дополнительных ограничений, накладываемых на направления осей координат. Решение упрощенной задачи выступает как этап решения исходной задачи. Выполнена вычислительная проверка разработанного способа, которая доказала его адекватность и работоспособность. Минимальное количество спутников Глонасс/GPS при использовании разработанного способа может быть снижено с четырех в известных методиках до трех.

**Ключевые слова:** спутниковая навигация, Глонасс, GPS, координаты, расстояние.

**Введение**

Повышение точности определения координат дорожных и строительных машин (ДСМ) на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS является актуальной задачей, решение которой позволит получить

значительный экономический эффект при строительстве дорог.

При этом для однозначного определения координат точки в трехмерном пространстве с помощью дальномерного метода достаточно сигналов четырех спутников системы глобального позиционирования [1, 2, 3, 4, 5].

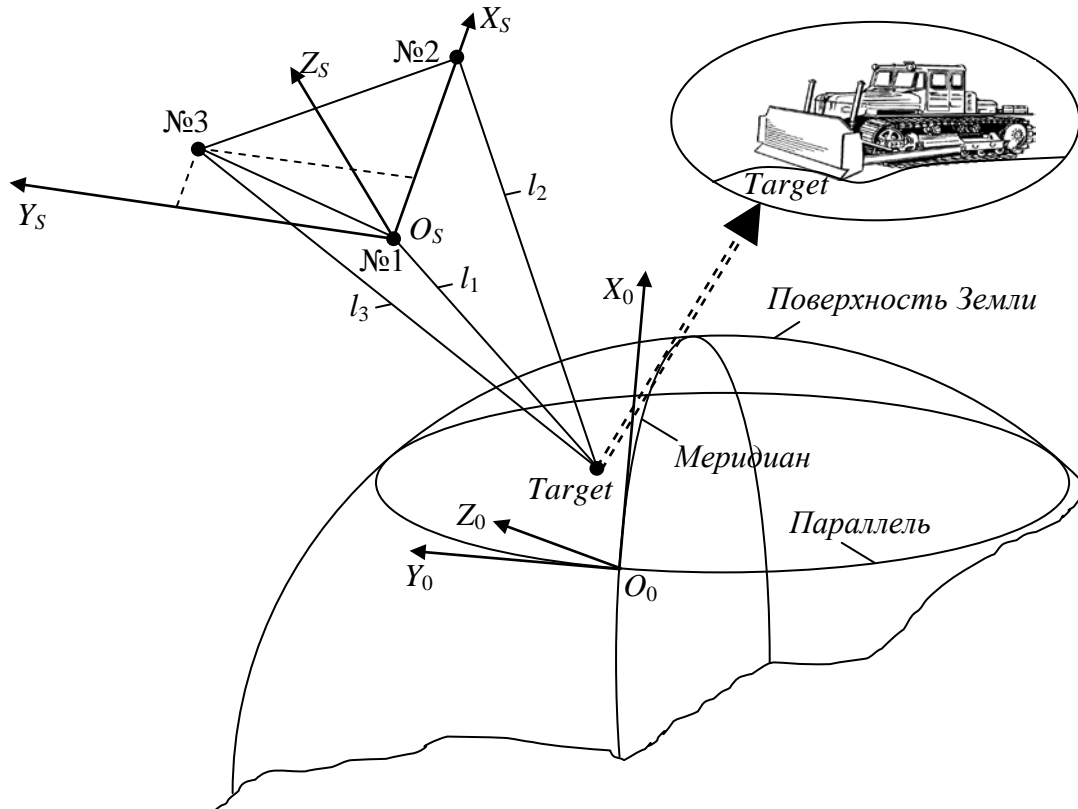


Рис. 1. Точка *Target* (ДСМ), три точки спутников и системы координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  и  $O_s X_s Y_s Z_s$

В научной литературе известно описание аналитического решения задачи определения координат точки по расстояниям до четырех спутников [1, 2, 3, 4, 5]. В данной работе предложен алгоритм вычисления координат точки, принадлежащей ДСМ, оборудованной датчиками Глонасс/GPS, по трем спутникам.

**Постановка задачи**

Имеется неподвижная правая ортогональная система координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ , связанная с Землей и находящаяся на ее поверхности. Ось  $O_0 Z_0$  данной системы направлена вертикально вверх, оси  $O_0 X_0$  и  $O_0 Y_0$  расположены на плоскости и образуют правую ортогональную систему координат. Также на поверхности Земли имеется принадлежащая дорожной или строительной машине точка *Target*, координаты которой в системе  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  необходимо найти. На геостационарных орбитах над поверхностью

Земли находятся три искусственных спутника, чьи координаты в системе  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  в любой момент времени известны:  $[x_{01}; y_{01}; z_{01}]$  для спутника № 1,  $[x_{02}; y_{02}; z_{02}]$  для спутника № 2 и  $[x_{03}; y_{03}; z_{03}]$  для спутника № 3.

Также известны три расстояния от трех спутников (спутники № 1, 2 и 3) до точки *Target*:  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  соответственно (рис. 1), измеренные при помощи Глонасс/GPS-датчика, находящегося в точке *Target*.

Необходимо определить координаты точки *Target*  $[x_{0T}; y_{0T}; z_{0T}]$  в неподвижной системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ , связанной с Землей.

**Замена исходной постановки задачи на упрощенную**

Использование прямого решения исходной задачи затруднено громоздкостью решений системы из трех уравнений сфер в декартовых координатах [1, 2, 5].

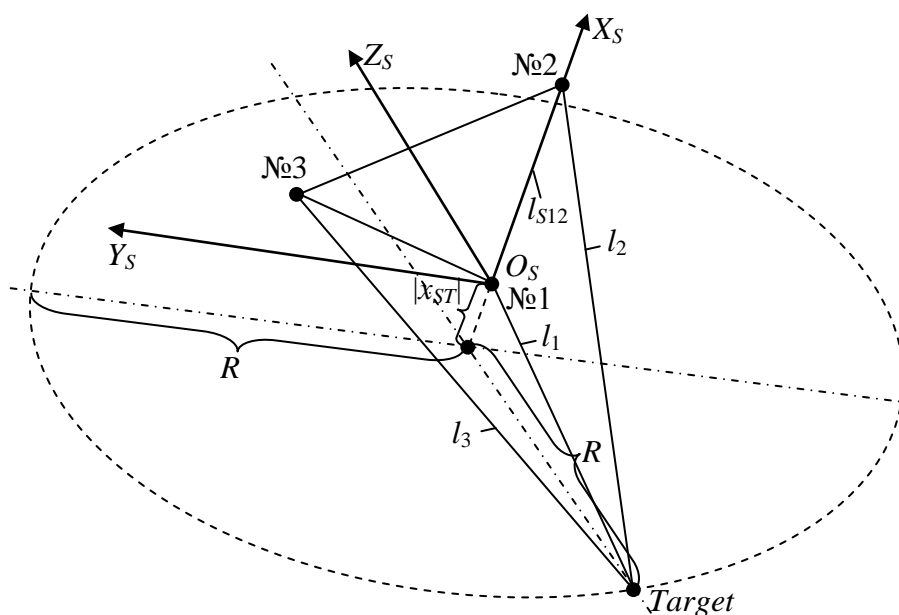


Рис. 2. Схема упрощенной задачи с дополнительными ограничениями

Для упрощения решения исходной задачи была использована упрощенная при помощи дополнительных ограничений постановка задачи поиска решения в локальной системе координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ , связанной с точками текущего положения спутников № 1, 2 и 3.

Оси системы  $O_S X_S Y_S Z_S$  для упрощения выводимых зависимостей располагались следующим образом: ось  $O_S X_S$  соединяет точки расположения спутников № 1 и № 2, причем точка начала координат  $O_S$  совпадает с точкой спутника № 1. Точка спутника № 3 располагалась в плоскости  $O_S X_S Y_S$  (рис. 2).

Систему координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  можно расположить с соблюдением описанных ограничений при любых численных значениях координат трех спутников, т.е. для любой формы треугольника, образованного точками спутников.

При описанном расположении точек трех спутников в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ , необходимо найти координаты точки ДСМ *Target*  $[x_{ST}; y_{ST}; z_{ST}]$  в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ .

В качестве исходных данных упрощенной задачи с дополнительными ограничениями выступают: расстояния от трех спутников (спутники № 1, 2 и 3) до точки *Target*:  $l_1, l_2, l_3$  соответственно и координаты трех спутников в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ :  $[0; 0; 0]$  для спутника № 1,  $[x_{S2}; 0; 0]$  для спутника № 2 и  $[x_{S3}; y_{S3}; 0]$  для спутника № 3.

#### Решение упрощенной задачи с дополнительными ограничениями

1. Определяется расстояние  $l_{S12}$  от точки спутника № 1 до точки спутника № 2. С учетом принятых ограничений:

$$l_{S12} = x_{S2}. \quad (1)$$

2. Определяется значение полупериметра  $p$  треугольника, образованного точками двух спутников № 1, № 2, и точкой *Target*.

Учитывая, что расстояния между точками №1–*Target* и № 2–*Target* равны исходным данным  $l_1$  и  $l_2$  соответственно,  $p$  равен:

$$p = (l_1 + l_2 + l_{S12}) / 2. \quad (2)$$

3. Определяется высота  $R$  треугольника №1–№2–*Target*, опущенная из точки *Target* на сторону №1–№2 треугольника. Используется формула длины высоты через стороны треугольника [6]:

$$R = \frac{2}{l_{S12}} \sqrt{p \cdot (p - l_{S12}) \cdot (p - l_1) \cdot (p - l_2)}. \quad (3)$$

Высота  $R$  одновременно является радиусом окружности, лежащей в плоскости, параллельной  $O_S Y_S Z_S$  с центром в точке, имеющей координаты  $[x_{ST}; 0; 0]$ .

4. Определяется значение координаты  $x_{ST}$  точки *Target* с использованием теоремы Пифагора [6] ( $\text{sgn}$  – функция знака числа):

$$x_{ST} = \text{sgn}(l_1 - l_2) \cdot \sqrt{l_1^2 - R^2}. \quad (4)$$

5. Формируется система двух уравнений координат точки *Target*, состоящая из уравнения окружности радиусом  $R$  с центром в точке с координатами  $[x_{ST}; 0; 0]$  и уравнения известного расстояния  $l_3$  между двумя точками *Target* и № 3:

$$\begin{cases} y_{ST}^2 + z_{ST}^2 = R^2; \\ \sqrt{(x_{S3} - x_{ST})^2 + (y_{S3} - y_{ST})^2 + (-z_{ST})^2} = l_3. \end{cases} \quad (5)$$

Неизвестными в системе (5) являются две координаты точки *Target*  $y_{ST}$  и  $z_{ST}$ .

6. Единственное решение системы (5) по  $y_{ST}$  имеет вид:

$$y_{ST} = (x_{S3}^2 - 2 \cdot x_{S3} \cdot x_{ST} + x_{ST}^2 + y_{S3}^2 + R^2 - l_3^2) / (2 \cdot y_{S3}). \quad (6)$$

7. Учитывая громоздкость выражений двух решений системы (5) по  $z_{ST}$ , модуль значения  $z_{ST}$  проще вычисляется из уравнения окружности:

$$|z_{ST}| = \sqrt{R^2 - y_{ST}^2}. \quad (7)$$

В результате решения упрощенной задачи с дополнительными ограничениями, по (4), (6) и (7) формируются вектора двух точек решения с координатами  $[x_{ST}; y_{ST}; +|z_{ST}|]$  и  $[x_{ST}; y_{ST}; -|z_{ST}|]$ .

#### Решение исходной задачи

Для решения исходной задачи с использованием в качестве составного этапа решения упрощенной задачи, применен метод однородных координат [2, 3, 7]. Коэффициент масштабирования принят равным 1.

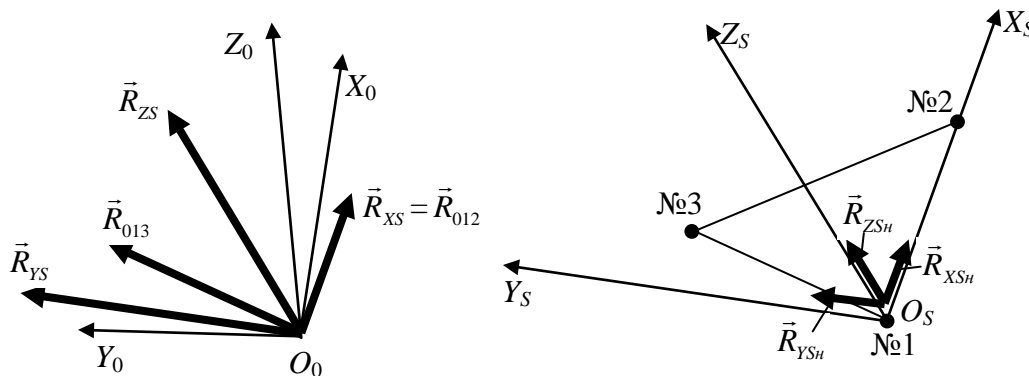


Рис. 3. Схема векторов, используемых для формирования матрицы перехода из системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  в систему координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$

1. На основе координат исходных данных  $[x_{01}; y_{01}; z_{01}]$  для спутника № 1,  $[x_{02}; y_{02}; z_{02}]$  для спутника № 2 и  $[x_{03}; y_{03}; z_{03}]$  для спутника № 3, в системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$

формируются два ненормированных вектора (рис. 3): направления от точки №1 к точке № 2:

$$\vec{R}_{012} = [x_{012}; y_{012}; z_{012}; 1]^T = [(x_{02} - x_{01}); (y_{02} - y_{01}); (z_{02} - z_{01}); 1]^T, \quad (8)$$

и направления от точки №1 к точке №3:

$$\vec{R}_{013} = [x_{013}; y_{013}; z_{013}; 1]^T = [(x_{03} - x_{01}); (y_{03} - y_{01}); (z_{03} - z_{01}); 1]^T, \quad (9)$$

Вектор  $\vec{R}_{XS} = [x_{XS}; y_{XS}; z_{XS}; 1]^T = \vec{R}_{012}$ , в соответствии с принятыми ограничениями для упрощенной задачи, будет параллелен оси  $O_S X_S$  локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ .

2. Векторное произведение векторов  $\vec{R}_{012}$  и  $\vec{R}_{013}$  представляет собой вектор  $\vec{R}_{ZS}$ , перпендикулярный одновременно  $\vec{R}_{012}$  и  $\vec{R}_{013}$  и, следовательно, в соответствии с принятыми ограничениями для упрощенной задачи, параллельный оси  $O_S Z_S$  локальной системы

координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ . Компоненты вектора  $\vec{R}_{ZS}$  согласно формулам векторного

произведения в трехмерном пространстве [6] равны:

$$\vec{R}_{ZS} = \vec{R}_{012} \times \vec{R}_{013} = [x_{ZS}; y_{ZS}; z_{ZS}; 1]^T = \begin{bmatrix} y_{012} \cdot z_{013} - z_{012} \cdot y_{013} \\ z_{012} \cdot x_{013} - x_{012} \cdot z_{013} \\ x_{012} \cdot y_{013} - y_{012} \cdot x_{013} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

3. Векторное произведение векторов  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$  представляет собой вектор  $\vec{R}_{YS}$ , перпендикулярный одновременно  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$  и, следовательно, параллельный оси  $O_S Y_S$

локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ . Компоненты вектора  $\vec{R}_{YS}$  согласно формулам векторного произведения для образования правой ортогональной системы координат [6] равны:

$$\vec{R}_{YS} = \vec{R}_{XS} \times \vec{R}_{ZS} = [x_{YS}; y_{YS}; z_{YS}; 1]^T = \begin{bmatrix} z_{XS} \cdot y_{ZS} - y_{XS} \cdot z_{ZS} \\ x_{XS} \cdot z_{ZS} - z_{XS} \cdot x_{ZS} \\ y_{XS} \cdot x_{ZS} - x_{XS} \cdot y_{ZS} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

В результате по (8), (10) и (11) в системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  формируются три ненормированных ортогональных вектора,  $\vec{R}_{YS}$ ,  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , направления которых совпадают с направлениями осей  $O_S X_S$ ,  $O_S Y_S$  и  $O_S Z_S$  соответственно системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  согласно принятым для упрощенной задачи ограничениям.

4. Для нормирования векторов,  $\vec{R}_{YS}$ ,  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , определяется модуль каждого из них:

$$|\vec{R}_{XS}| = \sqrt{x_{XS}^2 + y_{XS}^2 + z_{XS}^2}; \quad (12)$$

$$|\vec{R}_{YS}| = \sqrt{x_{YS}^2 + y_{YS}^2 + z_{YS}^2}; \quad (13)$$

$$|\vec{R}_{ZS}| = \sqrt{x_{ZS}^2 + y_{ZS}^2 + z_{ZS}^2}. \quad (14)$$

5. Выполняется нормирование векторов,  $\vec{R}_{YS}$ ,  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , путем деления их компонентов на собственные модули:

$$\vec{R}_{XSH} = [x_{XSH}; y_{XSH}; z_{XSH}; 1]^T = [x_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; y_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; z_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; 1]^T; \quad (15)$$

$$\vec{R}_{YSH} = [x_{YSH}; y_{YSH}; z_{YSH}; 1]^T = [x_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; y_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; z_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; 1]^T; \quad (16)$$

$$\vec{R}_{ZSH} = [x_{ZSH}; y_{ZSH}; z_{ZSH}; 1]^T = [x_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; y_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; z_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; 1]^T. \quad (17)$$

6. Согласно правилам преобразования прямоугольных систем координат [8], координаты ортов,  $\vec{R}_{YSH}$ ,  $\vec{R}_{XSH}$  и  $\vec{R}_{ZSH}$  осей прямоугольной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ , выраженные в прямоугольной системе  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ , будут являться элементами матрицы направляющих косинусов, описывающих повороты системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  относительно  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ .

Тогда в однородных координатах матрица  $A_{S0}$  перехода из локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  к системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  будет иметь вид:

$$A_{S0} = \begin{bmatrix} x_{XSH} & x_{YSH} & x_{ZSH} & x_{01} \\ y_{XSH} & y_{YSH} & y_{ZSH} & y_{01} \\ z_{XSH} & z_{YSH} & z_{ZSH} & z_{01} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

7. Матрица  $A_{0S}$  перехода из системы координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  к локальной системе координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  будет являться матрицей, обратной к  $A_{S0}$  [9]:

$$A_{0S} = A_{S0}^{-1} = \frac{1}{|A_{S0}|} \cdot A_{S0}^T, \quad (19)$$

где  $|A_{S0}|$  – определитель матрицы  $A_{S0}$ ;  $A_{S0}^T$  – транспонированная матрица алгебраических дополнений соответствующих элементов матрицы  $A_{S0}$  [9].

8. Вектора трех точек расположения спутников, заданные в неподвижной системе координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ :  $\vec{R}_{01} = [x_{01}; y_{01}; z_{01}; 1]^T$  для спутника №1,  $\vec{R}_{02} = [x_{02}; y_{02}; z_{02}; 1]^T$  для спутника №2 и  $\vec{R}_{03} = [x_{03}; y_{03}; z_{03}; 1]^T$  для спутника №3 (исходные данные исходной задачи) выражаются в системе координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ :

$$\vec{R}_{S1} = [x_{S1}; y_{S1}; z_{S1}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{01} \quad (20)$$

$$\vec{R}_{S2} = [x_{S2}; y_{S2}; z_{S2}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{02}; \quad (21)$$

$$\vec{R}_{S3} = [x_{S3}; y_{S3}; z_{S3}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{03}. \quad (22)$$

Ненулевыми компонентами данных векторов будут при этом являться только  $x_{S2}$ ,  $x_{S3}$  и  $y_{S3}$ , согласно дополнительным ограничениям упрощенной задачи.

9. Выполняется решение упрощенной задачи с дополнительными ограничениями по методике, изложенной выше. Формируются вектора двух точек решения с однородными координатами  $\vec{R}_{ST1} = [x_{ST1}; y_{ST1}; +|z_{ST1}|; 1]^T$  и  $\vec{R}_{ST2} = [x_{ST1}; y_{ST1}; -|z_{ST1}|; 1]^T$ .

10. Вектора  $\vec{R}_{ST1}$  и  $\vec{R}_{ST2}$  переводятся из локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  в систему координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ :

$$\vec{R}_{T1} = [x_{T1}; y_{T1}; z_{T1}; 1]^T = A_{S0} \cdot \vec{R}_{ST1}; \quad (23)$$

$$\vec{R}_{T2} = [x_{T2}; y_{T2}; z_{T2}; 1]^T = A_{S0} \cdot \vec{R}_{ST2}. \quad (24)$$

11. Выполняется проверка значений компонент высотной координаты точки *Target*  $z_{T1}$  и  $z_{T2}$  векторов  $\vec{R}_{T1}$  и  $\vec{R}_{T2}$  соответственно на превышение их абсолютными значениями порогового значения *Threshold* по выполнению условий:

$$|z_{T1}| \leq \text{Threshold}; \quad (25)$$

$$|z_{T2}| \leq \text{Threshold}. \quad (26)$$

Пороговое значение *Threshold* высоты точки *Target* выбирается исходя из того соображения, что модуль значения высотной координаты точки *Target* будет очень мал по сравнению с высотой расположения спутников над поверхностью Земли. Одно из двух решений при этом (неправильное

решение) будет иметь значение высотной координаты сопоставимым, т.е. одного порядка с высотой расположения спутников над поверхностью Земли.

Из двух решений, полученных в п. 10, условия (25), (26) будут выполняться только для одного, которое и будет единственно верным решением поставленной исходной задачи.

#### Заключение

Предложенный способ был проверен путем проведения вычислений и доказал свою работоспособность. Погрешность определения координат точки ДСМ *Target* при расчетах в системе MATLAB с двойной точностью (до 15 знака приблизительно) составила менее  $10^{-6}$  м при принятии допущения об отсутствии погрешностей значений исходных данных. Способ может быть использован для определения координат ДСМ на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS.

#### Библиографический список

1. Богданов, М.Р. Применения GPS/ГЛОНАСС : учебное пособие / М.Р. Богданов.–Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 136 с.
2. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич [и др.] ; под ред. В.С. Шебашевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. : А.И. Перова, В.Н. Харисова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2010. – 800 с.
4. Аппаратура высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем: приемники-потребители навигационной информации / А.Д. Борискин, А.В. Вейцель, В.А. Вейцель, М.И. Жодзишский, Д.С. Милютин ; под ред. М.И. Жодзишского. – М. : Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 292 с.
5. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС/ В.С. Яценков. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
6. Гусев, В.А. Геометрия. Полный справочник / В.А. Гусев, И.Б. Кожухов, А.А. Прокопьев. – М. : Махаон, 2006. – 320 с.
7. Корятов, М.С. Автоматизация синтеза оптимальных траекторий перемещения грузов мобильными грузоподъемными кранами в неоднородном организованном трехмерном пространстве : монография / М.С. Корятов. – Омск : СибАДИ, 2012. – 380 с.
8. Прасолов, В.В. Геометрия / В.В. Прасолов, В.М. Тихомиров. – М. : МЦНМО, 2007. – 328 с.

9. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн ; пер. с англ. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1296 с.

### METHOD FOR DETERMINING COORDINATES ROAD AND BUILDING CARS ON EARTH'S SURFACE AT A DISTANCE BASIS UNTIL THREE SATELLITES

M.S. Korytov<sup>1</sup>, V.S. Scherbakov<sup>1</sup>, R.Y. Suharev<sup>1</sup>

**Abstract.** Describes a method for determining the coordinates of points on the surface based on the distance to three satellites. The method for determining the coordinates of the road and construction machinery on the surface of the Earth with the help of global positioning system GLONASS / GPS. The mathematical apparatus of homogeneous coordinates. Used welcome replacement for the original formulation of the solutions of the problem areas of the three equations in Cartesian coordinates to the simplified with additional constraints on the direction of the coordinate axes. The solution simplified the task acts as a stage solving the original problem. Performed computer check of the developed method, which has proved its adequacy and efficiency. The minimum number of GLONASS / GPS satellite using the developed method can be reduced from four to three to known techniques.

**Keywords:** satellite navigation, GLONASS, GPS, coordinates, distance.

### References

1. Bogdanov, M.R. GPS/GLONASS Applications: A Tutorial / M.R. Bogdanov - Dolgoprudny: Publishing House "Intellect", 2012. - 136 p.
2. Network satellite radio navigation system / V.S. Shebshaevich, P.P. Dmitriev, N.V. Ivantsevich etc. ; Ed. V.S. Shebashevich. - 2 nd ed., Revised. and ext. - M. : Radio and Communications, 1993. - 408 p.
3. GLONASS. The principles of construction and operation / Ed. A.I. Perov, V.N. Kharisov. Ed. 4th, Revised. and ext. - M. : Radio Engineering, 2010 - 800 p.
4. The equipment of high-precision positioning of the signals of global navigation satellite systems: receivers consumers of the navigation information / A.D. Boriskin, A.V. Veytsel, V.A. Veytsel, M.I. Zhodzishsky, D.S. Milutin; Ed. M.I. Zhodzishsky. - M. : Publishing House of the MAI-PRINT, 2010. - 292 p.
5. Yatsenko V.S. Fundamentals of satellite navigation. Systems GPS NAVSTAR and GLONASS. - M: Hotline Telecom, 2005. - 272 p.

6. Gusev, V.A. Geometry. Complete Reference / V.A. Gusev, I.B. Kozhukhov, A.A. Prokopiev. - M.: Swallowtail, 2006. - 320 p.

7. Korytov, M.S. Automation of synthesis of optimal trajectories of movement of goods by mobile cranes in an inhomogeneous organized three-dimensional space: a monograph / M.S. Korytov. - Omsk: SibADI, 2012. - 380 p.

8. Prasolov V.V. Geometry / V.V. Prasolov, V.M. Tikhomirov. - M. : MTsNMO, 2007. - 328 p.

9. Kormen, Thomas X. Algorithms: construction and analysis: transl. from English / Thomas X. Kormen, Charles I. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. - M. : Publishing. House "Williams", 2005. - 1296 p.

*Корытов Михаил Сергеевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ»(644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: kms142@mail.ru).*

*Щербakov Виталий Сергеевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника» ФГБОУ ВО «СибАДИ»(644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Сухарев Роман Юрьевич (Россия, Омск) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5).*

*Korytov Mikhail Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of a university department "Automobiles, construction materials and technologies", The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: kms142@mail.ru).*

*Sherbakov Vitaliy Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor, president of a university faculty "Oil-and-gas and building technology", The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Suharev Roman Yur'evich (Russian Federation, Omsk) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of production processes and Electrical Engineering" The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*



УДК 621.867

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПОДВЕСОК КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

А.В. Лагерева, Е.Н. Толкачев

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. ак. И.Г. Петровского», Россия, г. Брянск

**Аннотация.** *Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с определением рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Для эталонной конструкции такого конвейера выполнена серия численных расчетов, по результатам которой установлено влияние количества и соотношения типов подвесок дискретного участка на главные технические показатели транспортирующей установки. Сформулированы рекомендации по выбору рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой распределенным приводом и вертикально-замкнутой трассой.*

**Ключевые слова:** *ленточный конвейер, подвеска, подвесная лента, распределенный привод, рациональные параметры.*

### Введение

Сегодня машины непрерывного транспорта являются неотъемлемой составляющей большинства производственных процессов, порой вытесняя машины периодического действия из традиционных областей применения, таких, как транспортные, погрузочно-разгрузочные и складские работы. Не меньшее распространение конвейеры получили в результате использования их тяговых и грузонесущих элементов в качестве транспортирующих и подающих частей сельскохозяйственных, строительно-дорожных машин, дробильно-сортировочных комплексов и прочих. Существующее конструктивное многообразие в совокупности с широкими областями применения конвейерного транспорта – это результат постоянного развития и модернизации существующих установок, а также поиска альтернативных и принципиально новых решений в области транспортирования материалов.

Среди основных направлений современного развития конвейеров [1 - 3] отечественными учеными отмечаются:

1) создание конвейерных установок для бесперегрузочного транспортирования грузов по трассе большой протяженности и сложной пространственной конфигурации;

2) повышение производительности конвейеров путем увеличения количества груза на единицу их длины, а также путем повышения скорости грузонесущих элементов;

3) повышение надежности машин;

4) снижение массы и уменьшение габаритных размеров конвейеров;

5) создание конструкций, основанных на перспективных методах транспортирования;

6) исключение возможности потерь транспортируемого груза, изоляция от окружающей среды пылевидных, горячих, газифицированных и химически агрессивных грузов.

В соответствии с вышеперечисленными критериями в последние годы ведется работа над созданием принципиально новой конструкции конвейера, сочетающей в себе характерные черты традиционного ленточного конвейера и рельсового транспорта [4-9]. Описание общих особенностей конструкции разрабатываемого конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом неоднократно приводилось в научных публикациях [5; 7; 10]. При этом отмечается актуальность задачи выбора рациональных параметров элементов такого конвейера, наименее материально- и трудозатратно решаемая при использовании математического моделирования [11; 12]. Большое количество замещающих дискретных масс, учет упруго-вязких свойств ленты, механических характеристик приводов, проскальзывания ведущих роликов приводных подвесок и ряда прочих факторов значительно усложняет математическое описание, а количество дифференциальных уравнений движения получается достаточно большим, что делает решение такой системы в общем виде практически невозможным. Поэтому прибегают к применению широко известных численных методов и использованию ЭВМ [13 - 15].

### Анализ результатов исследований

Проводимая ранее посредством численного анализа разработанной математической модели [7; 10] оценка влияния массо-габаритных и фрикционных параметров элементов подвесок конвейера позволила сформулировать ряд рекомендаций по выбору рациональных параметров подвесок дискретного участка [16]. Тем не менее среди технических параметров конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, определяемых первоочередно, неосвещенным остался вопрос выбора рационального количества приводных и холостых подвесок. Различное их число, с одной стороны, определяет шаг расположения на трассе и, соответственно, соотношению количества ведущих и ведомых погонную нагрузку на элементы подвесок со стороны грузонесущей ленты, с другой, – по

соотношению количества ведущих и ведомых подвесок устанавливается мощность приводов подвесок. В совокупности приведенные факторы влияют на общую мощность конвейера и скорость транспортирования. Данные характеристики конвейера являются определяющими в вопросах повышения энергетической эффективности и производительности конвейерной установки.

Анализ влияния количества подвесок на трассе на выходные технические характеристики конвейера будем проводить на основе численного анализа математической модели конвейера с подвесной лентой [7; 10]. На рис. 1 представлена схема трассы эталонного конвейера с обозначением ключевых участков, а в табл. 1. приведены его технические характеристики.

Таблица 1 – Технические характеристики эталонного конвейера

Технические характеристики	Значение
<i>Общие</i>	
Длина горизонтальной проекции конвейера, м	30
Радиус концевой поворотной секции, м	0,625
Угол наклона конвейера, град	0
Производительность расчетная, т/ч	200
Объемная плотность транспортируемого груза, т/м <sup>3</sup>	1,2
Угол естественного откоса груза, град	20
Скорость транспортирования, м/с	1,0
Общее количество подвесок, шт.	80
Количество приводных подвесок (дискретных участков), шт.	16
Количество подвесок в дискретном участке, шт.	5
Шаг подвесок, м	0,8
<i>Подвесок</i>	
Сила прижатия прижимного устройства ведущей подвески, Н	140
Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески, Н·м	10,0
Номинальная скорость вращения, об/мин	148,0
Скорость вращения без нагрузки, об/мин	165,0
Масса металлоконструкции прижимной секции, кг	1,0
Масса приводного ролика, кг	2,0
Масса мотор-редуктора, кг	4,2
Масса металлоконструкции несущей секции, кг	7
Масса неприводного ролика, кг	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески, кг	5,0
Наружный радиус приводного ролика, м	0,065
Наружный радиус холостого ролика, м	0,025
Внутренний радиус ролика, м	0,006
Коэффициент трения качения (резина-сталь), м	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	0,5
Коэффициент трения качения (сталь-сталь), м	0,001
Коэффициент трения скольжения в осях	0,03
Количество холостых роликов в приводной подвеске, шт.	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске, шт.	4
<i>Ленты</i>	
Число прокладок ленты, шт.	3
Толщина верхней обкладки / нижней обкладки, мм	1,0 / 2,0
Толщина тягового каркаса ленты, мм	3

Окончание таблицы 1

Толщина ленты, мм	9
Модуль упругости ленты в продольном направлении, МПа	380
Модуль упругости ленты в поперечном направлении, МПа	190
Коэффициент жесткости, кН/м	570
Коэффициент затухания колебаний	0,05

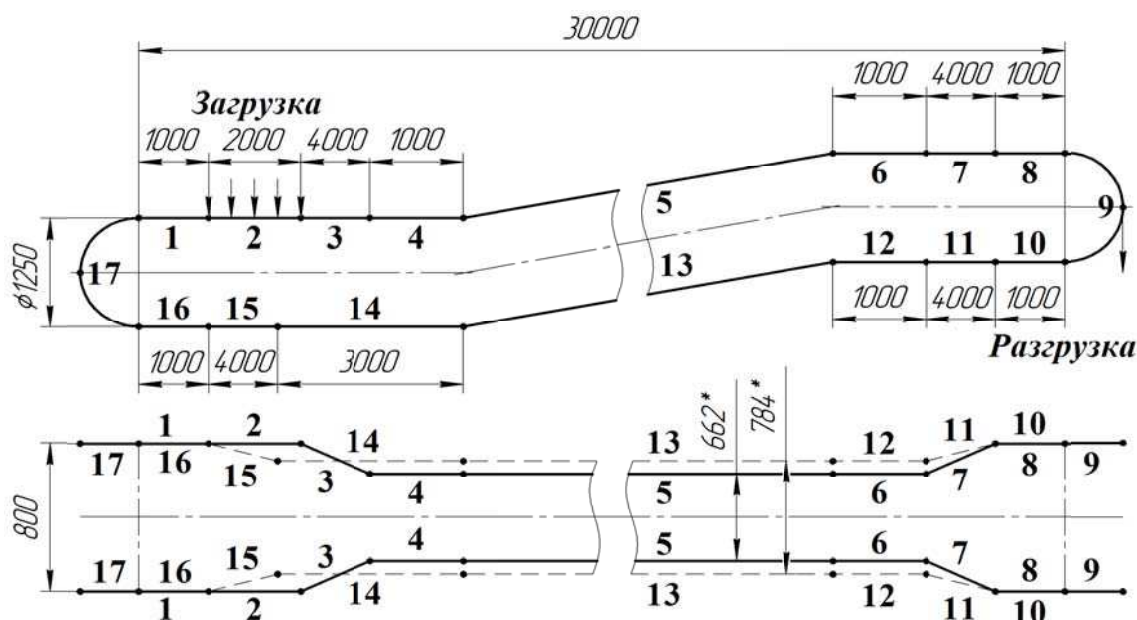


Рис. 1. Схема трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:  
 1-8 – грузовая ветвь; 10-16 – холостая ветвь; 9, 17 – концевые поворотные участки;  
 2 – загрузочный пункт; 3, 11 – желобообразующие участки; 7, 15 – выполаживающие участки;  
 5, 13 – наклонные участки

Начальные условия, необходимые для решения системы дифференциальных уравнений динамики конвейера, были заданы следующими: начальные линейные перемещения дискретных масс принимались равными расстояниям от начала грузовой ветви вдоль направляющих качения до соответствующих подвесок; угловые перемещения, а также линейные и угловые скорости были приняты нулевыми.

Моделирование динамики конвейера осуществлялось при следующих параметрах интегрирования: время – 100 с, шаг – 0,005 с.

После выполнения серии численных расчетов с учетом ограничения максимального шага расположения подвесок для различных возможных конфигураций дискретного участка, приведенных в табл. 2 и на рис. 2, а, б, была определена общая мощность конвейера (рис. 2, в) и скорость транспортирования груза (рис. 2, г).

Таблица 2 – Численные результаты варьирования количества подвесок

Количество приводных подвесок, шт.	Количество подвесок на трассе, шт.								
	Шаг расположения подвесок на трассе, м								
	Общая мощность конвейера, кВт								
	Средняя скорость движения, м/с								
	Количество подвесок в дискретном участке, шт.								
	20	18	16	14	12	10	8	6	4
8	160	144	128	112	96	80	64	48	32
	0,40	0,44	0,50	0,57	0,67	0,80	1,00	1,33	2,00
	7,91	7,30	6,68	6,06	5,44	4,79	4,15	3,46	2,68
	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,80

## ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Окончание таблицы 2

7	140	126	112	98	84	70	56	42	-
	<u>0,46</u>	<u>0,51</u>	<u>0,57</u>	<u>0,65</u>	<u>0,76</u>	<u>0,91</u>	<u>1,14</u>	<u>1,52</u>	
	<u>7,31</u>	<u>6,76</u>	<u>6,21</u>	<u>5,66</u>	<u>5,10</u>	<u>4,54</u>	<u>3,95</u>	<u>3,34</u>	
	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	
6	120	108	96	84	72	60	48	36	-
	<u>0,53</u>	<u>0,59</u>	<u>0,67</u>	<u>0,76</u>	<u>0,89</u>	<u>1,07</u>	<u>1,33</u>	<u>1,78</u>	
	<u>6,69</u>	<u>6,22</u>	<u>5,74</u>	<u>5,25</u>	<u>4,76</u>	<u>4,26</u>	<u>3,75</u>	<u>3,20</u>	
	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,90	
5	100	90	80	70	60	50	40	-	-
	<u>0,64</u>	<u>0,71</u>	<u>0,80</u>	<u>0,91</u>	<u>1,07</u>	<u>1,28</u>	<u>1,60</u>	-	
	<u>6,06</u>	<u>5,66</u>	<u>5,24</u>	<u>4,84</u>	<u>4,41</u>	<u>3,97</u>	<u>3,55</u>	-	
	1,01	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	-	
4	80	72	64	56	48	40	32	-	-
	<u>0,80</u>	<u>0,89</u>	<u>1,00</u>	<u>1,14</u>	<u>1,33</u>	<u>1,60</u>	<u>2,00</u>	-	
	<u>5,43</u>	<u>5,09</u>	<u>4,76</u>	<u>4,42</u>	<u>4,08</u>	<u>3,71</u>	<u>3,34</u>	-	
	1,02	1,02	1,01	1,01	0,99	0,98	0,96	-	
3	60	54	48	42	36	-	-	-	-
	<u>1,07</u>	<u>1,18</u>	<u>1,33</u>	<u>1,52</u>	<u>1,78</u>	-	-	-	
	<u>4,79</u>	<u>4,53</u>	<u>4,28</u>	<u>4,01</u>	<u>3,74</u>	-	-	-	
	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01	-	-	-	
2	40	36	32	-	-	-	-	-	-
	<u>1,60</u>	<u>1,78</u>	<u>2,00</u>	-	-	-	-	-	
	<u>4,20</u>	<u>4,02</u>	<u>3,84</u>	-	-	-	-	-	
	1,05	1,04	1,04	-	-	-	-	-	

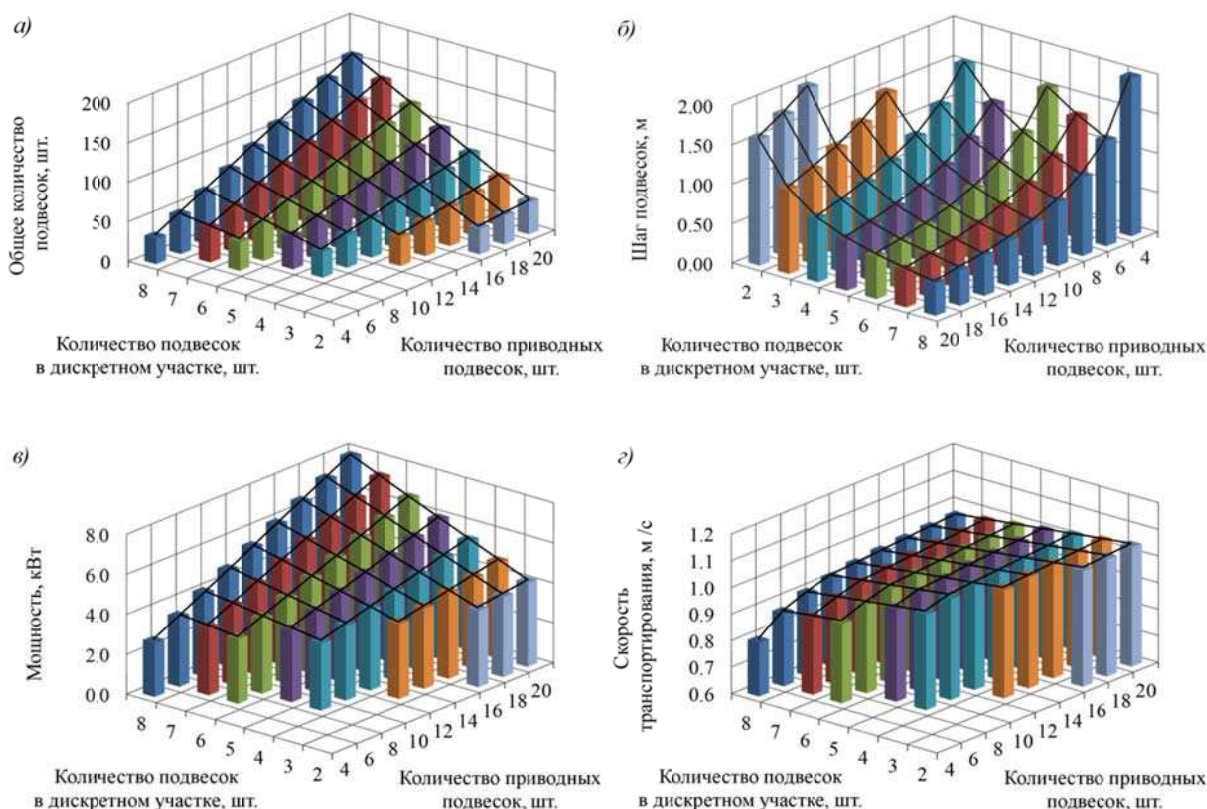


Рис. 2. Количественное распределение результатов в зависимости от конфигурации дискретного участка конвейера: а – подвесок на трассе; б – шага между подвесками; в – общей мощности; г – средней скорости движения

Представленные данные распределения общего количества подвесок в зависимости от количества разных типов подвесок (рис. 2, а) согласуются с величиной шага их установки на направляющих качения. Так, в пределах длины трассы эталонного конвейера увеличение количества подвесок ведет к нелинейному сокращению расстояния между ними (рис. 2, б).

Из диаграммы распределения общей мощности конвейера, представленной на рис. 2, в, видно, что ее величина линейно возрастает как при увеличении количества приводных подвесок, так и при увеличении количества неприводных.

В то же время, средняя скорость движения подвесок (рис. 2, г) имеет несколько иной характер распределения значений в зависимости от сочетания типов подвесок на трассе конвейера. Так, уменьшение длины дискретного участка за счет сокращения количества неприводных подвесок вызывает линейное повышение скорости движения. При этом увеличение количества приводных подвесок также позволяет достичь ее прироста. Однако в

последнем случае изменение величины скорости происходит по нелинейной зависимости. Особенно резкое повышение скорости наблюдается при малом количестве приводных подвесок (от 4 до 8), после чего ее рост продолжается по зависимости, близкой к линейной.

Рассмотрим отдельные частные случаи. Так, например, при общем количестве подвесок дискретного участка, равном 5, что соответствует эталонному значению, графики зависимости общей мощности конвейера и скорости движения ленты от количества приводных подвесок имеют вид, представленный на рис. 3 а, б.

При используемом сочетании проектных параметров сокращение количества дискретных участков до наименьшего значения, равного 8, сопровождается снижением мощности на 32 % и скорости на 5 %. В то же время соответствующие графики изменения общей мощности и скорости транспортирования при увеличении шага расположения подвесок за счет добавления дискретных участков имеют вид, представленный на рис. 4, а, б.

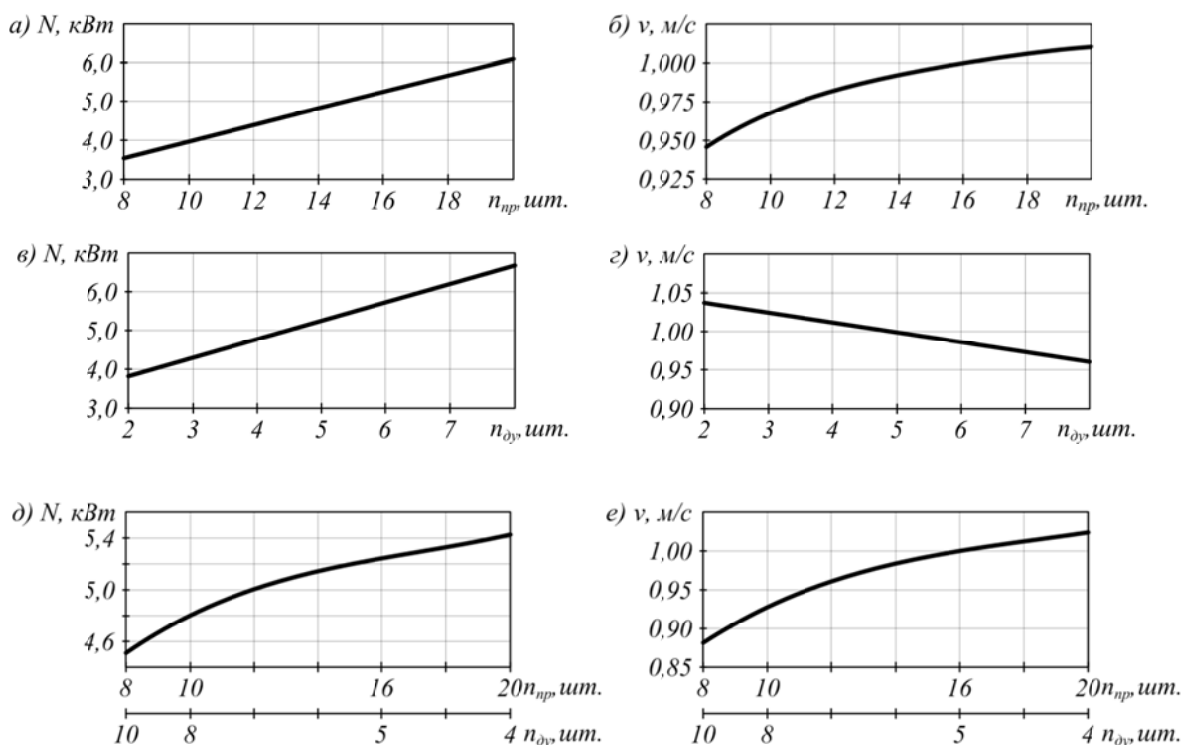


Рис. 3. Зависимость технических характеристик конвейера от количества и соотношения подвесок на трассе: а, б – мощности и скорости от количества дискретных участков; в, г – мощности и скорости от количества подвесок дискретного участка; д, е – мощности и скорости от конфигурации дискретного участка

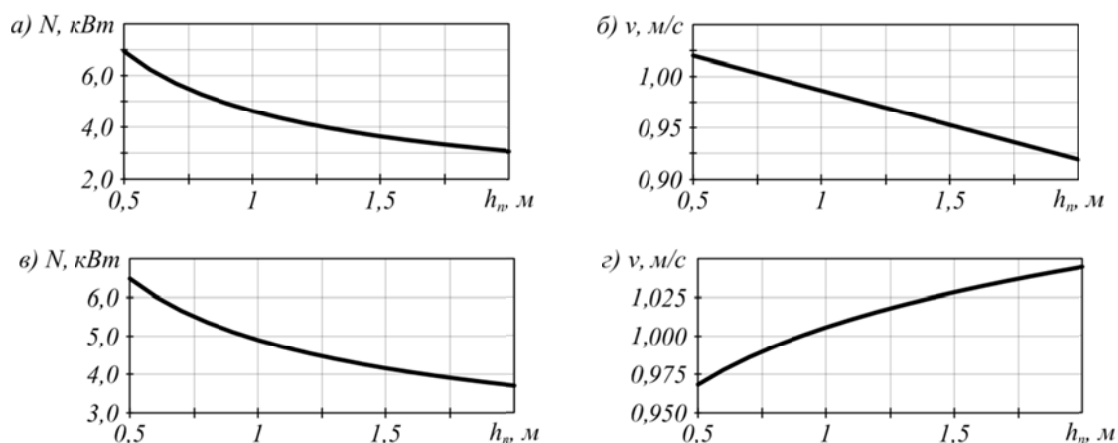


Рис. 4. Зависимость технических характеристик конвейера от шага расположения подвесок на трассе: а, б – мощности и скорости при постоянном количестве подвесок дискретного участка, равном 5; в, г – мощности и скорости при постоянном количестве дискретных участков, равном 16

Исходя из полученных результатов, следует, что увеличение шага между подвесками в 1,5 раза ведет к уменьшению величины общей мощности на 26,9 % и понижению скорости движения на 2,8 %.

Зависимости технических характеристик конвейера от количества подвесок, входящих в состав дискретного участка, при сохранении количества приводных подвесок постоянным, равным 16, представлены на рис. 3 в, г. В данном случае сокращение количества подвесок с эталонных 5 до минимальных 2 позволяет достичь снижения общей мощности конвейера на 27 % и повысить скорость ленты до 4 %. Между тем изменение величины шага расположения подвесок в результате добавления или сокращения подвесок дискретного участка оказывает нелинейное влияние на общую мощность и скорость конвейера (рис. 4, в, г): увеличение шага расположения подвесок на трассе конвейера в 1,5 раза сопровождается понижением общей мощности приводов на 17,8 %, а также повышением скорости транспортирования на 2,2 %.

Кроме того, варьируя сочетание количества приводных и неприводных подвесок, определяющих конфигурацию дискретного участка, в пределах общего постоянного количества подвесок, равного эталонным 80 шт., были получены следующие результаты изменения общей мощности конвейера и скорости транспортирования (рис. 3, д, е).

Из графиков следует, что увеличение количества приводных подвесок и соответствующее сокращение длины дискретных участков в пределах постоянного общего количества подвесок приводит к нелинейному росту мощности конвейера и повышению скорости движения ленты. Так, использование схемы компоновки конвейера 8x10 позволяет сократить общую мощность конвейера на 14 %, а также снизить скорость движения до 12 %.

Отдельного внимания требует рассмотрение картины распределения продольных напряжений от растяжения грузонесущей ленты в продольном направлении вдоль трассы (рис. 5). Здесь видно, что при уменьшении общего количества подвесок за счет сокращения количества дискретных участков, и соответствующем повышении шага между подвесками (рис. 5, а) увеличивается неравномерность движения ленты, в результате чего несколько возрастает амплитуда колебаний продольных напряжений при движении по грузовой 1 - 8, а также холостой 10 - 16 ветвям конвейера.

Увеличение общего количества подвесок, вызванное добавлением неприводных подвесок в состав дискретного участка, и соответствующее сокращение шага между подвесками приводит к увеличению размаха продольных напряжений. Их величины возрастают к концам грузовой 1 - 8 и холостой 10 - 16 ветвей, а также на поворотных участках 9, 17 с 1,1 до 1,5 МПа и с 0,7 до 0,4 МПа соответственно (рис. 5, б).

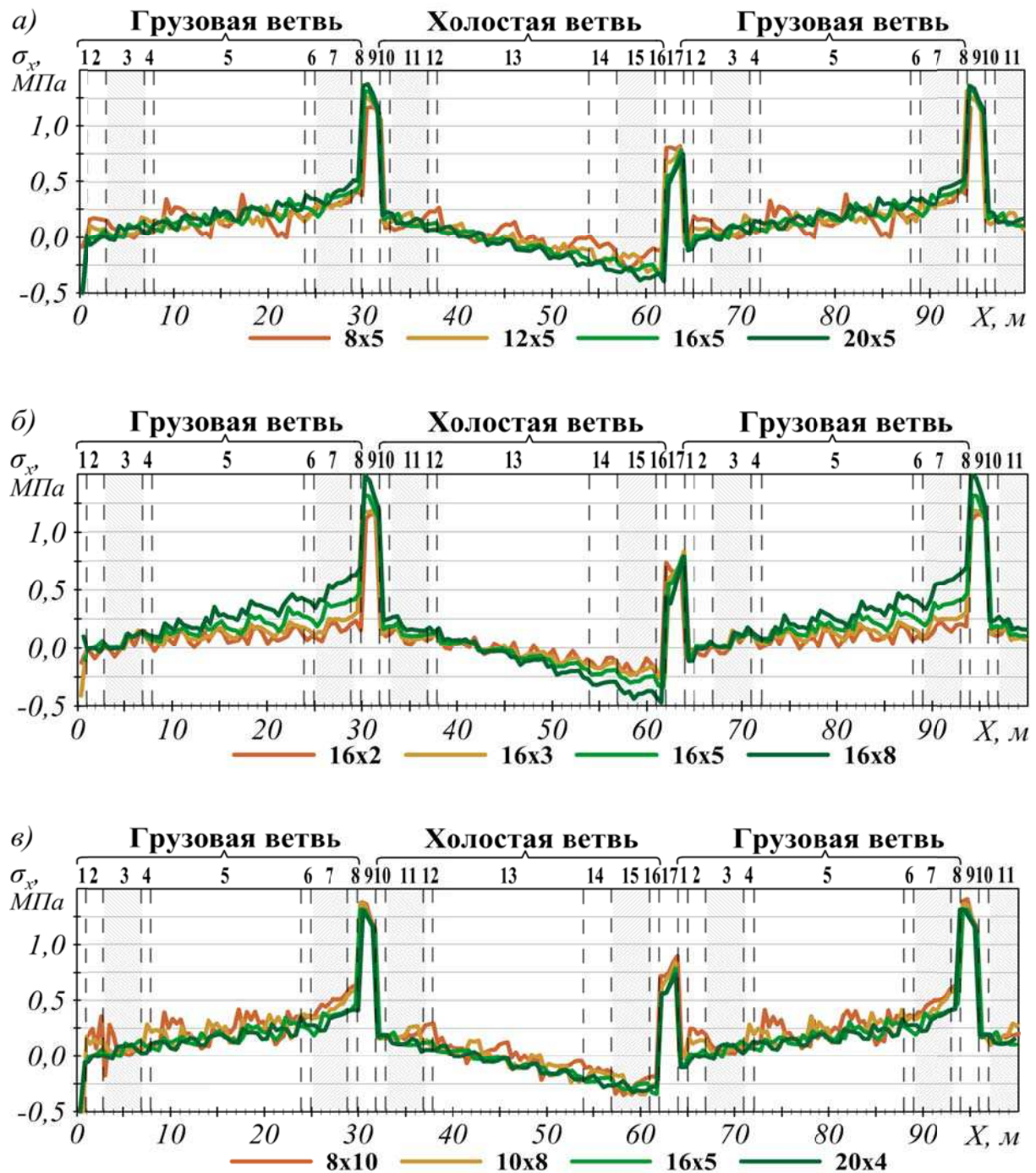


Рис. 5. Графики изменения продольных напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при изменении количества и соотношения подвесок: а – при увеличении количества дискретных участков; б – при увеличении количества подвесок дискретного участка; в – при изменении конфигурации дискретного участка

Изменение конфигурации дискретного участка за счет варьирования количества приводных и неприводных подвесок в пределах общего постоянного числа отличается тем, что с увеличением количества неприводных подвесок и соответствующим сокращением количества приводных несколько возрастает амплитуда колебаний напряжений, в особенности на грузовой грузовой 1 - 8 и холостой 10 - 16 ветвях конвейера.

### **Заключение**

Проанализировав влияние количества подвесок разных типов на трассе, а также шага их расположения, можно прийти к заключению, что с уменьшением количества подвесок и увеличением расстояния между ними происходит снижение общей мощности конвейера. При этом одновременное сокращение приводных и неприводных подвесок ведет к повышению интенсивности убывания величины общей мощности. Между тем, скорость транспортирования возрастает при увеличении количества приводных подвесок и сокращении длины дискретного участка, что в совокупности также способствует ее более интенсивному приросту. А величина шага здесь имеет двойственный характер влияния: если его увеличение происходит за счет сокращения количества приводных подвесок, то наблюдается снижение скорости; в том случае, если расстояние между подвесками повышается вследствие уменьшения количества подвесок дискретного участка, то скорость транспортирования растет.

По образу распределения продольных напряжений от растяжения в ленте, преимущественно сохраняющему характер изменения значений при варьировании количества подвесок, видно, что как увеличение количества подвесок дискретного участка, так и повышение шага между подвесками, приводят к увеличению амплитуды колебаний подвесок с сопряженными участками ленты, и, соответственно, к возрастанию величины напряжений.

Исходя из того, что определение количества подвесок на трассе конвейера начинается с выбора шага их установки, то изменение количественного соотношения приводных и неприводных подвесок осуществляется в пределах постоянного числа таким образом, чтобы общее

количество подвесок оставалось кратным количеству приводных. Поэтому добавление подвесок одного типа ведет к сокращению другого. Следовательно, с учетом характера влияния количества подвесок на технические характеристики конвейера, в качестве рекомендации предлагается принимать количество приводных подвесок наибольшим, а неприводных – минимальным. Такой принцип объясняется тем, что, во-первых, незначительное повышение общей мощности конвейера в результате расчетов нивелируется ее фактическим изменением при обеспечении требуемого значения скорости транспортирования за счет варьирования механических характеристик мотор-редукторов; во-вторых, увеличение количества подвесок приводит к сокращению внешних нагрузок на конструктивные элементы и допускает использование подвесок меньших габаритных размеров и металлоемкости, что также позволяет сократить общую мощность; в-третьих, увеличение количества приводных подвесок позволяет с одной стороны повышать надежность механической системы в за счет резервирования мощности, с другой – осуществлять более точный выбор приводов подвесок без отклонения потребляемой мощности от установленной.

**Исследование выполнено при  
финансовой поддержке РФФИ  
в рамках научного проекта  
№ 16-38-00058 мол\_а.**

### **Библиографический список**

1. Балабаев, О. Т. Спецкурс конвейерного транспорта / О. Т. Балабаев. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2015. – 178 с.
2. Пертен, Ю. А. Конвейерный транспорт XXI века / Ю. А. Пертен // Транспорт Российской Федерации, 2005. – № 1. – С. 42–43.
3. Ромакин, Н. Е. Конструкция и расчет конвейеров : справочник / Н. Е. Ромакин. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 504 с.
4. Конвейеры с подвесной лентой / В. И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. проф. В. И. Аверченкова. – М. : Машиностроение, 2004. – 256 с.
5. Лагереv, А. В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагереv, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал, 2009. – № 10. – С. 9–14.
6. Васильев, К. А. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников / К. А. Васильев, А. К. Николаев, К. Г. Сазонов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 544 с.



7. Лагереv, А. В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально-замкнутой трассой / А. В. Лагереv, Е. Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета, 2014. – № 3. – С. 45–52.

8. Гончаров, К. А. Экспериментальный стенд для исследования движения дискретного участка ленточного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / К. А. Гончаров, П. В. Бословяк, Д. Ю. Кулешов // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Брянск : БГТУ, 2012. – С. 14.

9. Гончаров, К. А. Принцип конструирования приводных подвесок ленточных конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом / К. А. Гончаров, П. В. Бословяк, Д. Ю. Кулешов // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Брянск : БГТУ, 2012. – С. 12–13.

10. Толкачев, Е. Н. Особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, в зависимости от их пространственной конфигурации на трассе / Е. Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета [Электрон. ресурс]. – 2015. – № 2. – С. 44 – 51. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-02-06.pdf>.

11. Красношарпа, В. А. Исследование динамических моделей приводов и проектирование горных машин / В. А. Красношарпа, Ю. И. Бережной. – К. : Научная мысль, 1983. – 184 с.

12. Молдабеков, М. М. Математическое моделирование динамики механизмов и машин / М. М. Молдабеков, А. К. Тулешов, Г. У. Уалиев. – Алматы : Қаз. ун-ті, 1998. – 204 с.

13. Панкратов, С. А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ / С.А. Панкратов. – М. : Машиностроение, 1967. – 448 с.

14. Реутов, А. А. Моделирование приводов ленточных конвейеров : монография / А.А. Реутов. – Брянск : БГТУ, 2011. – 152 с.

15. Формалев, В. Ф. Численные методы / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.

16. Лагереv, А. В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А. В. Лагереv, Е. Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1 – 2 (84). – С. 17–20.

## DETERMINATION OF RATIONAL NUMBER SUSPENSIONS OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE

A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev

**Abstract.** The article is devoted to current issue related to the definition of a rational number of

suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive. Using the basic design of the conveyor with suspended belt and distributed drive, a series of numerical calculations was performed. As a result, the influence of the number and ratio of types of suspensions on the main technical parameters of the conveyor was established. Recommendations on the choice of rational number of suspensions were formulated.

**Keywords:** conveyor belt, distributed drive, rational parameters, suspended belt, suspension.

## References

1. Balabayev O.T. *Spetskurs konveyernogo transporta* [Special course of conveyor transport]. Karaganda, KarGTU, 2015, 178 p.

2. Perten Yu.A. *Konveyernyy transport XXI veka* [The conveyor transport of the XXI century] // *Transport Rossijskoj Federacii*, 2005, № 1, pp. 42 – 43.

3. Romakin N.E. *Konstrukciya i raschet konveyerov* [Design and calculation of conveyors]. Staryj Oskol, TNT, 2011, 504 p.

4. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon]. Moscow, Mashinostroenie -1, 2004, 256 p.

5. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspensions carrying belt - new type of continuous transport machines // *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*, 2009, No.10, pp. 9 - 14.

6. Vasilev K.A., Nikolaev A.K., Sazonov K.G. *Transportnye mashiny i oborudovanie shakht i rudnikov* [Transport machinery and equipment mines]. St. Petersburg, Izd-vo «Lan», 2012, 544 p.

7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 33 – 40.

8. Goncharov K.A., Boslovyak P.V., Kuleshov D.Yu. Experimental stand for the study of the motion of a discrete section of conveyor with suspended belt and distributed drive // *Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitii innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryansk, BGTU*, 2012, p. 14.

9. Goncharov K.A., Boslovyak P.V., Kuleshov D.Yu. The principle of designing the drive suspension of conveyors with suspended belt and distributed drive // *Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitii innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryansk, BGTU*, 2012. p. 12-13.

10. Tolkachev E.N. Specifics of determining the forces are applied to the suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive, depending on their spatial configuration on the route // *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo*

universiteta, 2015, No. 2, pp. 44-51, available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-02-06.pdf>.

11. Krasnoshapka V.A., Berezhnoj Yu.I. *Issledovanie dinamicheskikh modeley privodov i proektirovanie gornyykh mashin* [The study of dynamic models of drives and designing of mining machines]. Kiev, Nauchnaya mysl, 1983, 184 p.

12. Moldabekov M.M., Tuleshov A.K., Ualiev G.U. *Matematicheskoe modelirovanie dinamiki mekhanizmov i mashin* [Mathematical modelling of dynamics of mechanisms and machines]. Almaty, Kaz. un-t, 1998, 204 p.

13. Pankratov S.A. *Dinamika mashin dlya otkrytykh gornyykh i zemlyanykh rabot* [Dynamics of machines for opencast mining and earthmoving]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1967. 448 p.

14. Reutov A.A. *Modelirovanie privodov lentochnykh konveyerov* [Simulation of the conveyor belt drives]. Bryansk, BGTU, 2011, 152 p.

15. Formalev V.F., Reviznikov D.L. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, FIZMATLIT, 2004, 400 p.

16. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Substantiation of rational suspension parameters conveyor with suspended belt and distributed drive. *Podemno-transportnoye delo*. 2016. No. 1-2 (84). pp. 17-20.

Лагереv Александр Валерьевич (Россия, Брянск) – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» (241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14, e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru)).

Толкачев Евгений Николаевич (Россия, Брянск) – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» (241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14, e-mail: [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru)).

Lagerev Alexander Valer'evich (Russian Federation, Bryansk) – Ph.D., Professor, the Vice Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovsky Bryansk State University (241036, Russian Federation, Bryansk, Bezhitskaya st., 14, e-mail: [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru)).

Tolkachev Evgeniy Nikolaevich (Russian Federation, Bryansk) – Specialist of the Department of innovative development at Academician I.G. Petrovsky Bryansk State University (241036, Russian Federation, Bryansk, Bezhitskaya st., 14, e-mail: [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru)).

УДК 621.2.082.18

### МЕТОДИКА ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЁТА ВАЛА РАСКАТЫВАЮЩЕГО ПРОХОДЧИКА СКВАЖИН

В. Лис<sup>1</sup>, Ю.Е. Пономаренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Германия, г. Mittelbiberach, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Отсутствие методики прочностного расчёта вала раскатывающего проходчика скважин, учитывающей его конструктивные особенности, значительно усложняет работу конструктора по определению необходимых поперечных сечений вала, обеспечивающих его надёжную, безотказную работу в течении всего эксплуатационного периода. В настоящей статье представлена схема нагружения раскатывающего рабочего органа в скважине, рассмотрена схема передачи нагрузки от катков к сердечнику вала посредством эксцентричных втулок и установлено влияние этих втулок на распределение нагрузки вдоль сердечника.

**Ключевые слова:** каток, эксцентричная втулка, сердечник вала, поперечная сила, изгибающий и крутящий момент.

#### Введение

Надёжность и долговечность работы раскатывающего проходчика скважин [1 – 6], как и любого другого механизма, всецело зависит от способности каждого узла, детали или комплектующего элемента воспринимать прикладываемую нагрузку и реагировать на неё соответствующим образом, не претерпевая

при этом необратимых конструктивных изменений, что обеспечивается прочностным расчётом и обоснованным выбором соответствующих материалов. Для проведения прочностного расчёта любого из элементов раскатывающего рабочего органа необходимо установить соответствующую ему расчётную схему

и определить вид и значение приложенных силовых нагрузок [2, 5 – 8].

Прочностной расчёт отдельных узлов и деталей раскатывающего проходчика скважин представляет собой, несмотря на первоначально кажущуюся простоту, комплексную задачу, решение которой требует применения специализированного метода расчёта. В настоящее время такой метод расчёта отсутствует и качество конструкторской разработки всецело зависит от опыта конструктора и его умения идеализировать расчётную схему. Одной из первых и немногих публикаций в какой-либо степени описывающих процесс работы раскатывающего проходчика скважин с учётом нагрузок является монография В.К. Свирщевского [1], однако вопросы расчёта элементов раскатчика на прочность не рассматривались ни здесь, ни в каких либо других публикациях.

**Метод поэтапного расчёта вала и схемы передачи нагрузки на сердечник вала**

В настоящей статье представлена методика расчёта вала раскатывающего рабочего органа, являющегося основным структурным элементом проходчика. Так как вал рабочего органа находится в

непосредственном контакте только с валом вращателя и подшипниковыми опорами катков, то очевидно, что силовое воздействие на него осуществляется посредством этих элементов. Согласно этому разработана схема нагружения вала раскатывающего проходчика скважин (рис. 1). Эта схема учитывает конструктивную особенность вала, которая заключается в исполнении его составным из сердечника 1 и эксцентричных втулок 2. На эксцентричные втулки опираются, посредством подшипников 3, грунтоуплотняющие катки 4.

Другой конструктивной особенностью раскатывающего рабочего органа является обеспечение его равновесия в скважине посредством нескольких силовых пар, каждая из которых образована двумя соседствующими катками с противоположно направленными приведёнными силами  $P_{смj}$  сопротивления грунта смятию [2, 4]. Плоскости действия каждой силовой пары развёрнуты относительно друг друга вокруг оси сердечника вала примерно на  $120^\circ$  (рис. 2). Такое расположение силовых пар стабилизирует раскатывающий проходчик в скважине и способствует его прямолинейному перемещению вдоль оси последней.

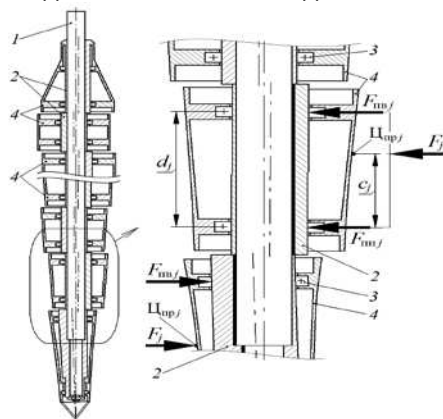


Рис. 1. Принципиальная схема приложения нагрузки к раскатывающему проходчику скважин:  
 1 – сердечник вала; 2 – втулка эксцентричная; 3 – подшипник опорный; 4 – каток грунтоуплотняющий.  
 $F_j$  – силовое воздействие грунта на произвольный ( $j$ -ый) каток;  $F_{пвj}$  и  $F_{пнj}$  – нагрузка на верхней и нижней подшипниковой опоре  $j$ -го катка соответственно;  $\text{Ц}_{прj}$  – центр приведения сил сопротивления грунта смятию  $j$ -м катком;  $c_j$  – расстояние от центра приведения сил до нижней опоры катка;  $d_j$  – расстояние между подшипниковыми опорами  $j$ -го катка

При прекращении вращения вала силы  $P_{смj}$  сопротивления грунта смятию обжимают, посредством катков, вал со всех сторон, придавая ему таким образом квазизащемлённое состояние. Основываясь на расположении силовых пар в развёрнутых плоскостях и жестком защемлении вала силами  $P_{смj}$ , расчёт вала ведётся поэтапно для каждой силовой пары. При этом расчёт начинается от первой силовой пары (катки

К-1 и К-2). С этой целью условно вырезается участок скважины от забоя (острия наконечника) до стыка второго – К-2 и третьего – К-3 катков и заменяется силовым воздействием грунта на освобождённые катки К-1 и К-2 (рис. 3). В результате удаления грунта и корпусов первого и второго катков видно, что силовые нагрузки на сердечник вала передаются эксцентричными втулками на которых установлены, с возможностью вращения посредством подшипниковых

опор, корпуса катков. Асимметричное расположение подшипниковых опор относительно центра приведения сил ( $\zeta_{пр}$ ) обуславливает их неравномерное нагружение и, следовательно, неравномерное распределение нагрузки по линии контакта эксцентричной втулки с сердечником вала. Нагрузки на подшипниковых опорах обратно пропорциональны расстояниям от опор до центра приведения сил и определяются следующими равенствами:

$$F_{пвj} = F_j \frac{c_j}{a_j}, \quad F_{пнj} = F_j \left(1 - \frac{c_j}{a_j}\right), \quad (1)$$

где  $F_j$  – силовое воздействие грунта на произвольный ( $j$ -ый) каток в процессе

раскатывания, определяемое как равнодействующая между силами сопротивления грунта смятию  $P_{смj}$  и перекачиванию  $F_{перj}$  по формуле  $F_j = (P_{смj}^2 + F_{перj}^2)^{1/2} \cos \beta_j$ , здесь  $\beta_j$  – угол между направлением равнодействующей силы  $F_j$  и плоскостью поперечного сечения катка;  $F_{пвj}$  и  $F_{пнj}$  – величина нагрузки передаваемой соответственно верхней и нижней опорами  $j$ -го катка на эксцентричную втулку;  $d_j$  – расстояние между подшипниковыми опорами  $j$ -го катка;  $c_j$  – расстояние от центра приведения сил ( $\zeta_{пр}$ ) до нижней опоры катка.

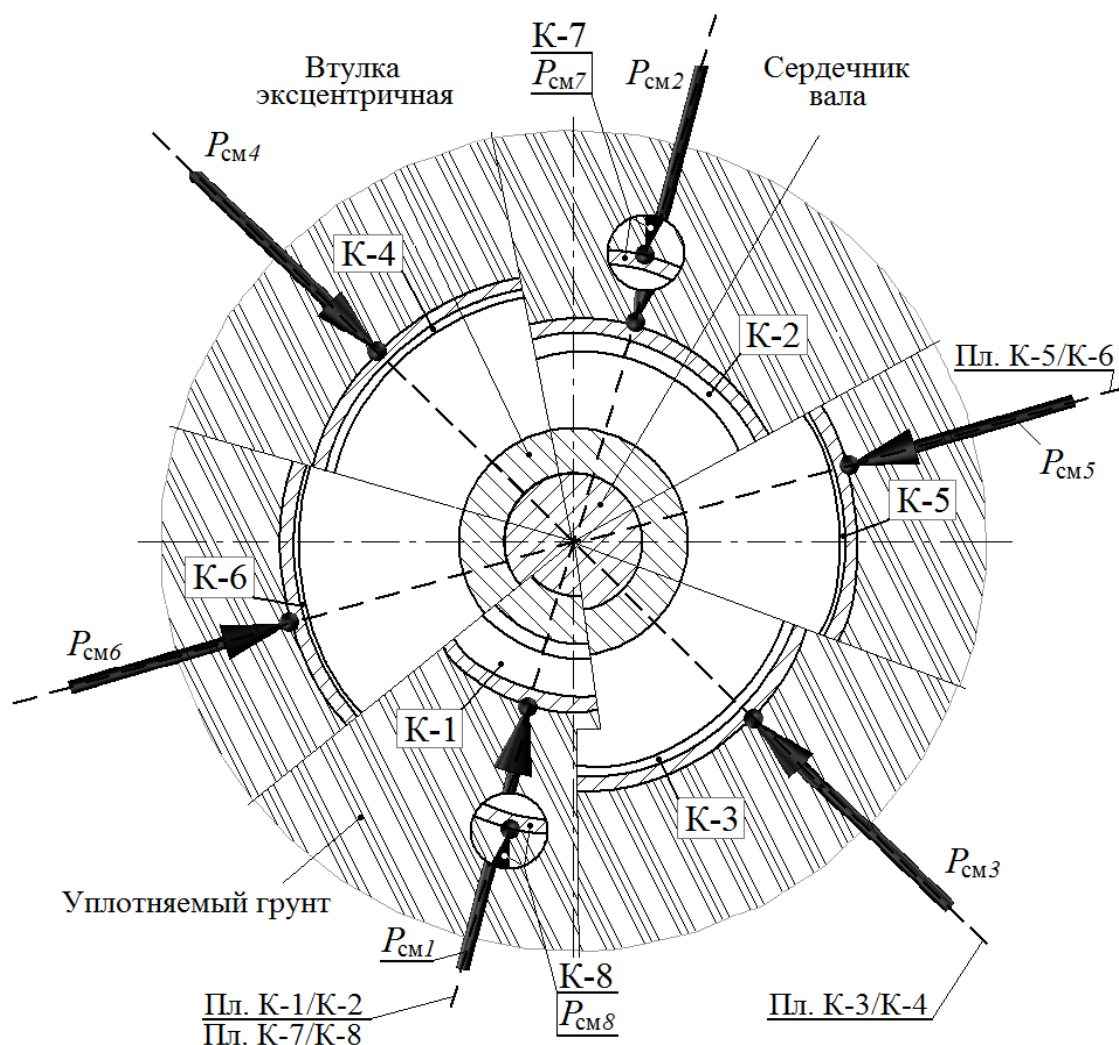


Рис. 2. Распределение сил сопротивления грунта смятию по периметру раскатываемой скважины (вид с наконечника): К-1 ... К-8 – элемент корпуса соответствующего катка;  $P_{см1} \dots P_{см8}$  – сила сопротивления грунта смятию соответствующим катком; Пл. К-1/К-2, Пл. К-3/К-4, Пл. К-5/К-6 и Пл. К-7/К-8 – плоскости расположения силовых пар соответствующих катков

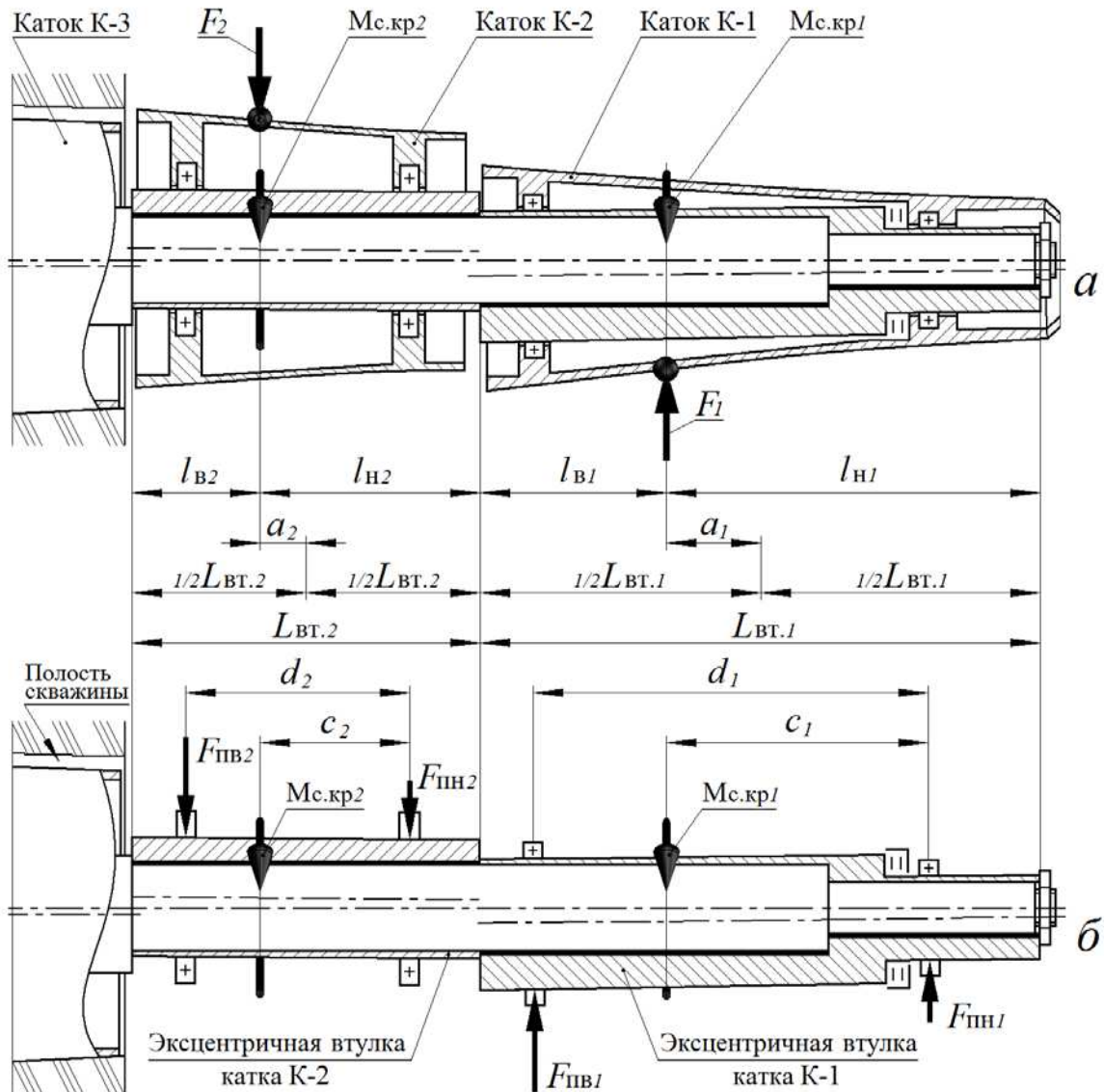


Рис. 3. Схема нагружения вала раскатчика на первом (I) этапе расчёта:  
 а – схема приложения сил  $F_1$  и  $F_2$  в центрах приведения первого К-1 и второго К-2 катков; б – схема распределения сил  $F_1$  и  $F_2$  по подшипниковым опорам и передача их эксцентричными втулками на сердечник вала

Принимая распределение нагрузки, передаваемой эксцентричной втулкой на сердечник вала, идентичным её распределению по подшипниковым опорам согласно равенствам (1) устанавливаем соотношение между нагрузками на подшипниках и интенсивностью распределённой нагрузки по основаниям соответствующей эксцентричной втулки, которое имеет следующий вид:

$$\frac{q_{вj} - q_{нj}}{L_{втj}} = \frac{F_{пвj} - F_{пнj}}{d_j} = \frac{F_j(2c_j - d_j)}{2d_j^2}, \quad (2)$$

где  $q_{вj}$  и  $q_{нj}$  – интенсивность нагрузки по верхнему (в<sub>j</sub>) и нижнему (н<sub>j</sub>) основаниям эксцентричной втулки  $j$ -го катка;  $L_{втj}$  – длина эксцентричной втулки  $j$ -го катка.

Нагрузка от эксцентричной втулки распределяется вдоль сердечника вала по трапецеидальной форме согласно равенству (2) с интенсивностью  $q_{zj}$  определяемой следующим выражением:

$$q_{zj} = q_{нj} + \frac{q_{вj} - q_{нj}}{L_{втj}} z_j = \frac{F_j}{L_{втj}} - \frac{F_j(2c_j - d_j)}{2d_j^2} (L_{втj} - 2z_j), \quad (3)$$

где  $z_j$  – расстояние от нижнего основания эксцентричной втулки  $j$ -го катка, расположенного вблизи меньшего основания катка, до рассматриваемого сечения.

Поперечная сила  $Q_{z(1-2)}$  и изгибающий момент  $M_{z(1-2)}$  действующие на сердечник вала в зоне катков К-1 и К-2 определяются следующими выражениями:

$$Q_{z(1-2)} = q_{z2}z_2 - q_{z1}z_1, \quad (4)$$

$$M_{z(1-2)} = Q_{z1}(z_{ц.т.р.1} + z_2) - Q_{z2}z_{ц.т.р.2} \quad (5)$$

где  $z_{ц.т.р.j}$  – расстояние от центра тяжести части трапецевидной нагрузки  $j$ -го катка, приходящейся на рассматриваемый отрезок сердечника вала, до рассматриваемого сечения.

Расстояние  $z_{ц.т.р.j}$  определяется через интенсивность нагрузки в плоскости нижнего основания эксцентричной втулки и рассматриваемого сечения следующим выражением:

$$z_{ц.т.р.j} = \frac{z_j(q_{zj} + 2q_{Hj})}{3(q_{zj} + q_{Hj})}. \quad (6)$$

Заменив в выражениях (3), (4), (5) и (6) параметры  $z_1$  и  $z_2$  на длину соответствующей эксцентричной втулки  $L_{вт1}$  или  $L_{вт2}$ , получим значение поперечной силы  $Q_z = R_l$  и изгибающего момента  $M_z = M_{изг.l}$  действующих на сердечник вала в плоскости стыка эксцентричных втулок второго – К-2 и третьего – К-3 катков (см. рис. 4).

Кроме поперечной силы и изгибающего момента, к валу раскатывающего проходчика скважин приложены, нормальная сила  $N_z$ , действующая вдоль оси вала и крутящий момент  $M_{крj}$  вокруг этой оси.

Значение нормальной силы  $N_z$  определяется суммой осевой силы  $P_{ос}$  действующей на раскатывающий проходчик и силой  $P_n$  сопротивления грунта внедрению наконечника, которые устанавливаются на стадии проекровочного расчёта раскатывающего рабочего органа согласно выражениям приведённым в статье «РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ РАСКАТКИ СКВАЖИН» [с. 196, 6]. Осевая сила  $P_{ос}$  представляет собой совокупность сил  $P_{пр}$

тяжести рабочего органа с приводом и суммарной силы  $\sum P_j^{3ат}$  затягивания катков грунтом. Сила  $P_{пр}$  величина постоянная для данного рабочего органа, а силы  $P_j^{3ат}$  затягивания и сила  $P_n$  сопротивления грунта внедрению наконечника зависят от грунтовых условий и могут варьировать в широком диапазоне, чем объясняется необходимость проведения проекровочного расчёта раскатывающего проходчика для наиболее тяжёлых грунтовых условий. При этом расчёт ведётся таким образом, чтобы суммарная сила  $\sum P_j^{3ат}$  затягивания катков грунтом примерно равнялась (с небольшим превышением) силе  $P_n$  сопротивления грунта внедрению наконечника. Такое равновесие сил практически обуславливает нулевое значение нормальной силы  $N_z$  на валу рабочего органа от внешних сил в зоне расположения катков. Фиксация эксцентричных втулок катков на сердечнике осуществляется упорным буртом на верхнем уровне возвратного катка и фиксирующего элемента на уровне нижнего основания первого катка. Фиксация эксцентричных втулок обеспечивает предварительно-напряжённое состояние сердечника вала в нерабочем состоянии. В процессе же работы осевая нагрузка от веса привода и сопротивление грунта внедрению катков и наконечника компенсируют предварительное напряжение сердечника, а суммарная нормальная сила  $N_z$  принимает нулевое значение. Вследствие вышеизложенного можно нормальной силой  $N_z$ , при прочностном расчёте сердечника, пренебречь.

Крутящий момент приложенный к сердечнику вала в плоскости стыка эксцентричных втулок первого – К-1 и второго – К-2 катков, равен моменту сопротивления вращению первого катка  $M_{кр1} = M_{с.кр1}$ , а в плоскости стыка эксцентричных втулок второго – К-2 и третьего – К-3 катков равен сумме моментов сопротивления вращению первого и второго катков, т.е.  $M_{крl} = M_{с.кр1} + M_{с.кр2}$  (см. рис. 4.д). Значение крутящего момента, приложенного к сердечнику вала, растёт ступенчато от катка к катку и достигает своего максимума, в результате суммирования моментов сопротивления вращению всех смонтированных на валу катков, за исключением возвратного не принимающего активного участия в процессе формирования скважины, на восьмом катке.

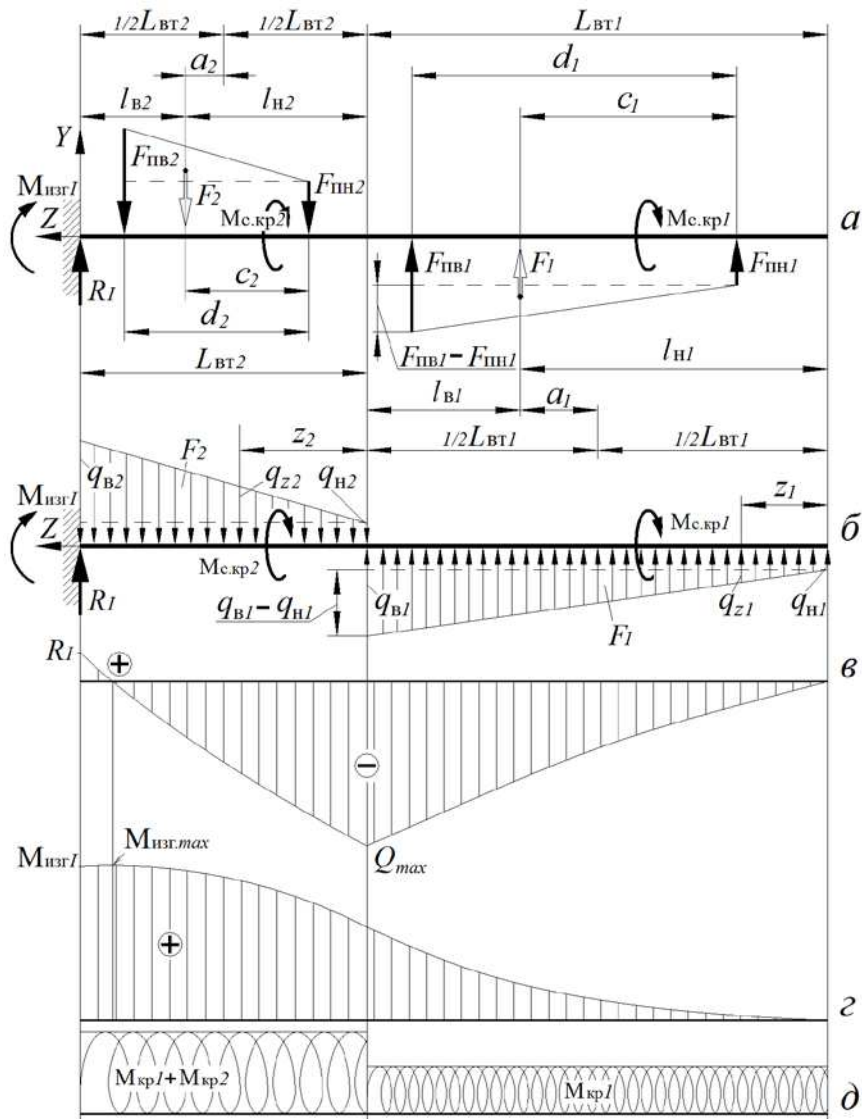


Рис. 4. Схема определения сил и моментов на сердечнике вала в зоне катков К-1 и К-2 (этап I):  
 а – распределение нагрузок по опорным подшипникам эксцентричных втулок; б – схема приведения сосредоточенных сил  $F_{ПВ1}$ ,  $F_{ПН1}$  и  $F_{ПВ2}$ ,  $F_{ПН2}$  к распределённым нагрузкам; в – эпюра поперечных сил  $Q$ , действующих в сердечнике вала в зоне катков К-1 и К-2; г – эпюра изгибающих моментов  $M_{изг}$ , действующих на сердечник вала в зоне этих катков; д – эпюра крутящих моментов  $M_{кр}$ , действующих в рассматриваемой зоне сердечника вала

Расчёт сердечника вала подверженного совместному воздействию изгиба и кручения проводится по приведённому моменту  $M_{IV}$ , определяемого по четвёртой теории прочности [с.394, 8]:

$$M_{IV} = \sqrt{M_z^2 + 0,75M_{крj}^2}, \quad (7)$$

где  $M_z$  и  $M_{крj}$  – соответственно изгибающий и крутящий моменты, действующие в рассматриваемом сечении сердечника вала.

Следующим этапом расчёта сердечника вала является вторая силовая пара образованная катками К-3 и К-4 (рис. 5). Здесь вырезается, дополнительно к первому этапу, часть скважины охватывающая катки К-3 и К-4, при этом защемление рабочего органа в скважине осуществляется обжатием катков К-5, К-6, К-7 и К-8 грунтом (см. рис. 2), а плоскость начала защемления смещается из плоскости стыка эксцентричных втулок катков К-2/К-3 в плоскость стыка втулок катков К-4/К-5. Применяя метод сечений отсекаем правую часть сердечника вала по

плоскости стыка эксцентричных втулок катков К-2/К-3, заменив её воздействие на левую часть сердечника поперечной силой  $R_l$ ,

изгибающим  $M_{изг. I}$  и крутящим  $M_{кр. I}$  моментами, значения которых установлены на первом этапе расчёта.

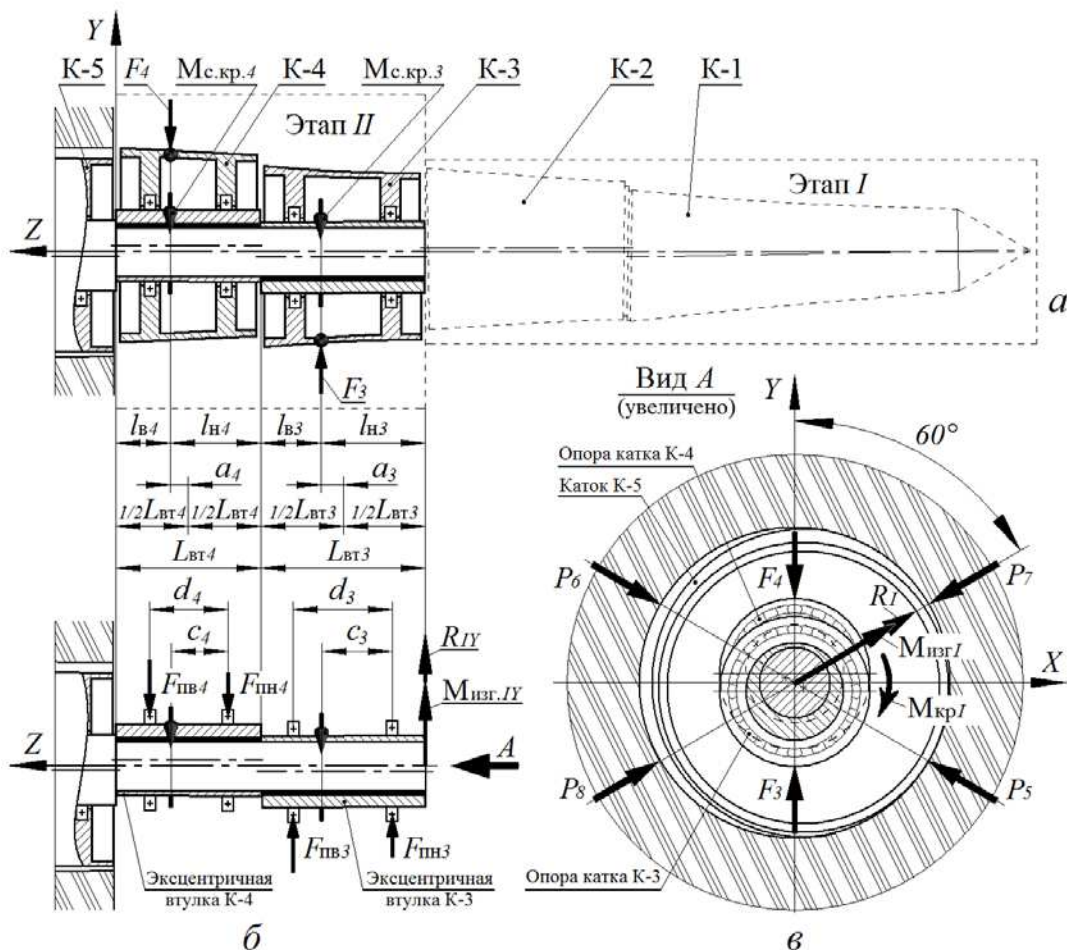


Рис. 5. Схема нагружения вала раскатчика на втором (II) этапе расчёта: а – распределение катков по этапам расчёта и приложение нагрузок  $F_3$  и  $F_4$  в центрах приведения сил третьего К-3 и четвёртого К-4 катков; б – распределение нагрузок  $F_3$  и  $F_4$  по опорам катков и их передача эксцентричными втулками на сердечник вала; в – схема приложения поперечной силы  $R_l$  и изгибающего  $M_{изг. I}$  и крутящего  $M_{кр. I}$  моментов, из первого (I) этапа расчёта, к сердечнику вала в зоне стыка эксцентричных втулок второго К-2 и третьего К-3 катков

**Заключение**

Аналогичным образом ведётся расчёт поперечных сил и изгибающих и крутящих моментов действующих на сердечник вала по всей длине раскатывающего рабочего органа.

Приведённая методика расчёта сердечника вала раскатывающего рабочего органа на прочность позволяет с достаточной, для проектно-конструкторских работ, точностью установить напряжения возникающие в сердечнике вала в процессе работы и выбрать соответствующий

материал обеспечивающий надёжную работоспособность раскатывающего проходчика скважин.

Предлагаемая методика расчёта поперечных сил и изгибающих и крутящих моментов впервые применена для прочностного расчёта вала раскатывающего рабочего органа RS-400, разрабатываемого в Германии по личной инициативе авторов настоящей статьи. Результаты расчёта поперечных сил и изгибающих моментов на «этапе I» приведены в таблице 1.



## ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таблица 1 – Результаты прочностного расчёта сердечника вала раскатывающего проходчика скважин RS-400 в зоне катков К-1/К-2 (этап I)

Параметр	Ед. изм.	Параметры эксцентричной втулки катка К-1 ( $j=1$ )								Параметры эксцентричной втулки катка К-2 ( $j=2$ )							
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,655	0,0	0,1	0,2	0,3	0,382	0,4		
$F_j$	кН	-13,9								16,3							
$L_{втj}$	м	0,655								0,400							
$r_{цпрj}$	м	0,108								0,150							
$Z_{цпрj}$	м	0,545								0,410							
$l_{hj}$	м	0,420								0,240							
$l_{bj}$	м	0,235								0,160							
$a_j$	м	0,093								0,040							
$d_j$	м	0,400								0,250							
$c_j$	м	0,300								0,165							
$Z_j$	м	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,655	0,0	0,1	0,2	0,3	0,382	0,4		
$q_{zj}$	кН/м	-15,56	-17,30	-19,04	-20,78	-22,52	-24,26	-26,00	-27,96	32,47	34,56	36,65	38,74	40,45	40,83		
$Z_{цтпрj}$	м	0,0	0,049	0,097	0,143	0,188	0,232	0,275	0,298	0,0	0,049	0,098	0,146	0,184	0,192		
$Q_j$	кН	0,0	-1,64	-3,46	-5,45	-7,62	-9,95	-12,47	-13,92	0,0	3,35	6,91	10,68	13,92	14,66		
$M_{изгj}$	кНм	0,0	0,081	0,334	0,778	1,430	2,307	3,427	4,152	0,0	-0,166	-0,677	-1,555	-2,561	-2,820		
$Q_l$	кН	0,0	-1,64	-3,46	-5,45	-7,62	-9,95	-12,47	-13,92	-13,92	-10,57	-7,01	-3,24	0,0	0,76		
$M_{изгl}$	кНм	0,0	0,081	0,334	0,778	1,430	2,307	3,427	4,152	4,152	5,379	6,260	6,774	6,908	6,902		

### Библиографический список

1. Свирцевский, В.К. Проходка скважин в грунте способом раскатки / В.К. Свирцевский. – Новосибирск : Наука, 1982. – 121 с.
2. Лис, В. Герметизация раскатывающих проходчиков скважин / В. Лис, Ю.Е. Пономаренко // Вестник СибАДИ.– 2014.– Вып. 6 (40). – С. 33–39.

3. Бурдуковский, А.И. Раскатывающие и спиралевидные снаряды / А.И. Бурдуковский, Я.А. Гойхман // Строительные и дорожные машины. –1990. – № 8. – С. 5–8.

4. Бобылев, Л.М. Машины для проходки скважин в грунте / Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев // Строительные и дорожные машины. – 1993. – № 3. – С. 16–18.

5. Паронян, Г.Г. Особенности проектирования грунтопроходных машин с самозавинчивающимся

рабочим органом / Г.Г. Паронян // Строительные и дорожные машины. – 1996. – №10. – С. 24–27.

6. Лис, В. Рабочий орган для раскатки скважин / В. Лис, Б.В. Колесников // Вестник СибАДИ. – 2005. – Вып. 2. – С. 192–197.

7. Гулиа, Н.В. Детали машин / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. – 2-е изд. – СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2010. – 416 с.

8. Дарков, А.В. Сопrotивление материалов : учебник для вузов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – 4-е изд. – М. : Высшая школа, 1975. – 654 с.

### A METHOD FOR STRENGTH CALCULATION OF A SHAFT OF WELLS' SINKER

V. Lis, Y.E. Ponomarenko

**Abstract.** The absence of a method for strength calculation of a shaft of wells' sinker, considering its structural features, significantly complicates the constructor's work in determining essential cross-sections of a shaft, providing its reliable, no-failure operation during the whole life cycle. The article provides the scheme of loading a rolling working element in a well, the scheme of a load transferring from rollers to the shaft's core using off-center bushing. The authors of the article have also determined the influence of these bushings on load distribution along the core.

**Keywords:** roller, off-center bushing, shaft's core, cross force, bending and torsion moment.

### References

1. Svirshchevskiy V. K. Prokhodka skvazhin v grunte sposobom raskatki. - Novosibirsk: Nauka, 1982. - 121 p.

2. Lis V., Ponomarenko Y.Y. Germetizatsiya raskatyvayushchikh prokhodchikov skvazhin // Vestnik SibADI, vyp. 6 (40), 2014. - p. 33-39.

3. Burdukovskiy A.I., Goykhman Y.A. Raskatyvayushchiye i spiralevidnyye snaryady // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. 1990. №8. p. 5-8.

4. Bobylev L.M., Bobylev A.L. Mashiny dlya prokhodki skvazhin v grunte // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. 1993. №3. p. 16-18.

5. Paronyan G.G. Osobennosti proyektirovaniya gruntoprokhodnykh mashin s samozavinchivayushchimsya rabochim organom // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. 1996. №10. p. 24-27.

6. Lis V., Kolesnikov B.V. Rabochiy organ dlya raskatki skvazhin // Vestnik SibADI, vyp. 2, 2005. - p. 192-197.

7. Gulia N. V., Klovok V. G., Yurkov S. A. Detali mashin .. - 2 izd. . - SPb, M., Krasnodar: Lan', 2010. - 416 p.

8. Darkov A.V., Shpiro G.S. Soprotivleniye materialov. Uchebnik dlya vtuzdv - Izd. 4-ye. - M. : Vysshaya shkola, 1975. - 654 p.

*Лис Виктор (Германия, Mittelbiberach) – кандидат технических наук (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail кандидат технических наук (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw.de).*

*Пономаренко Юрий Евгеньевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Инженерная геология, основания и фундаменты ФГБОУ ВО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).*

*Lis Victor (Germany, Mittlebiberach) - candidate of technical sciences (88441, Mittlebiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw.de).*

*Ponomarenko Yuriy Evgenievich (Russin Federation, Omsk) - doctor of technical sciences, professor, Head of the department "Engineering geology, foundations and bases" of The Siberian State Automobile and Highway Academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira ave, 5).*

УДК 621.313.33:621.333:621.314.26

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ

В.В. Харламов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов  
ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Аннотация.** В данной статье предложена методика определения мощности при испытании асинхронных тяговых двигателей и уточнена математическая модель процесса испытаний методом взаимной нагрузки за счет учета потерь мощности в неуправляемых выпрямителях и управляемых инверторах, входящих в состав преобразователей частоты. Для уточнения математической модели предложено воспользоваться методикой определения зависимости потерь в элементах частотных преобразователей, находящихся в составе схемы взаимной нагрузки асинхронных двигателей, от величины потребляемой и генерируемой мощности испытуемой и нагрузочной машины.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, преобразователь частоты, испытания, метод взаимной нагрузки, математическая модель.

### Введение

Широкое внедрение асинхронного тягового привода на сети железных дорог требует увеличения мощностей для его ремонта и послеремонтных (приемо-сдаточных) испытаний. При этом вводящиеся в строй новые мощности должны соответствовать последним достижениям науки и техники в области энергосбережения за счет применения соответствующих технологий.

При проведении приемо-сдаточных испытаний асинхронных тяговых двигателей необходимо проведение целого ряда различных видов испытаний [1, 2, 3, 4]. Наиболее энергозатратным видом является испытание на нагревание, которое должно быть проведено по возможности непосредственно в номинальном режиме [2]. Номинальным режимом для тяговых двигателей электровозов, питающихся от автономного источника (преобразователя частоты), считается продолжительный или часовой режим работы [3] в зависимости от категории испытаний. При этом испытания следует проводить при питании тем родом тока, для которого предназначена электрическая машина. Схемы, применяемые для испытаний, должны иметь характеристики, соответствующие характеристикам подвижного состава, для которого предназначен данный тип электрической машины [3].

Очевидно, что использование для создания нагрузки испытываемому двигателю нагрузочной машины, работающей в режиме динамического торможения или торможения противовключением, абсолютно не оправдано с точки зрения расхода требуемой на испытания электроэнергии. Следовательно, в таких случаях с целью экономии электроэнергии используют схемы, позволяющие возвращать часть мощности нагрузки обратно в сеть. Существует множество схем, позволяющих осуществить метод взаимной нагрузки для асинхронных двигателей, когда на две асинхронные машины подается напряжение с различной частотой, при этом одна машина нагружается как двигатель, а другая – отдает электроэнергию в сеть, работая как генератор [5,6,7]. При этом потребление электроэнергии из сети испытательным стендом в целом равно суммарным потерям, которые определяются коэффициентами полезного действия машин и питающих их частотных преобразователей.

### Методика определения потерь

Для исследования схем, использующих взаимную нагрузку, разработана математическая модель, позволившая описать работу двух асинхронных машин, у которых валы механически соединены и вращаются совместно с одной угловой скоростью. Данная математическая модель представляет собой систему из 13 линейных дифференциальных уравнений первой степени [8]. Сравнение результатов математического моделирования и экспериментальных данных показало достаточно высокую сходимость для интересующего участка механической характеристики – от холостого хода до номинальной нагрузки.

Однако данная система уравнений позволяет с рядом допущений моделировать только процессы, происходящие в электрических машинах. При этом участие в электрической схеме частотных преобразователей учитывается лишь в виде идеальных (т.е. не имеющих потерь) источников электродвижущей силы заданной формы.

Для учета потерь в частотных преобразователях предлагается воспользоваться следующей методикой, рассмотренной на примере одной из схем [5].

На рисунке 1 показана схема испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки и подключенные к схеме измерительные приборы. На рисунке 1 обозначены следующие элементы: AM1, AM2 – испытываемые асинхронные двигатели; 1, 2 – преобразователи частоты; 1.1, 1.2 – управляемые выпрямители первого и второго частотных преобразователей; 1.2, 2.2 – звенья постоянного тока первого и второго частотных преобразователей; 1.3, 2.3 – управляемые инверторы первого и второго частотных преобразователей; 5, 6 – контакторы; 7, 8, 9 – ваттметры; 10 – амперметр постоянного тока; 11 – вольтметр постоянного тока; 4 – общая шина постоянного тока; 3 – механическая связь валов двигателей AM1 и AM2, вращающихся с одинаковой угловой частотой.

Схема содержит три общепромышленных электроизмерительных прибора для измерения мощности переменного тока частотой 50 Гц, подаваемого на входы обоих частотных преобразователей и одного из асинхронных двигателей; из общепромышленных электроизмерительных приборов для измерения мощности постоянного тока, передаваемого по общей шине постоянного тока; двух контакторов, позволяющих

отключить выпрямитель одного из преобразователей частоты.

Определение электрической мощности, потребляемой асинхронными двигателями при

испытании их методом взаимной нагрузки для рассматриваемой схемы (см. рисунок 1) проводится в три этапа. На первом этапе собирается схема, приведенная на рисунке 2.

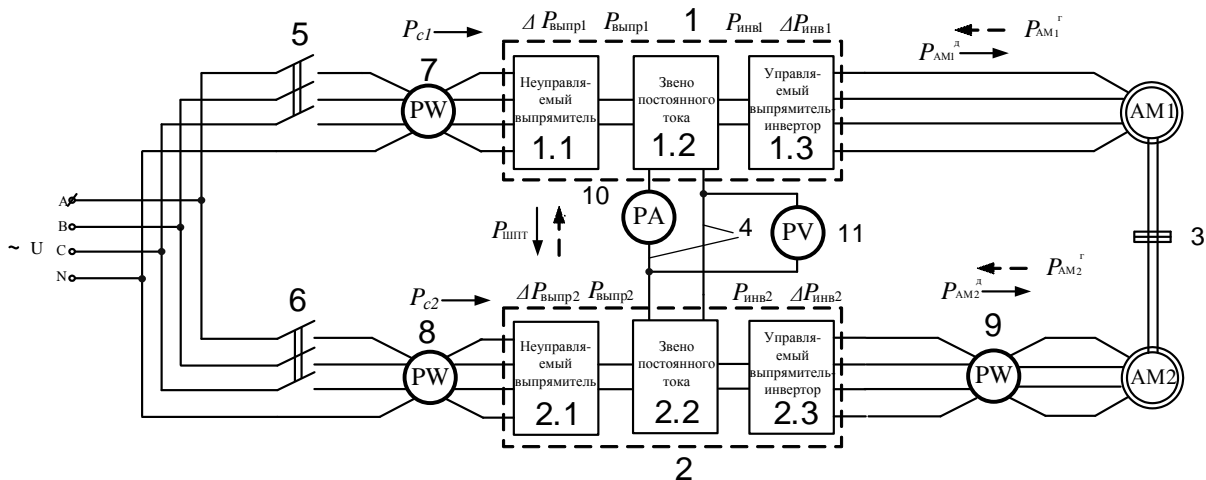


Рис. 1. Схема для испытания асинхронных тяговых двигателей методом их взаимной нагрузки с использованием одного преобразователя частоты и комплектом электроизмерительных приборов (второй измерительный этап).

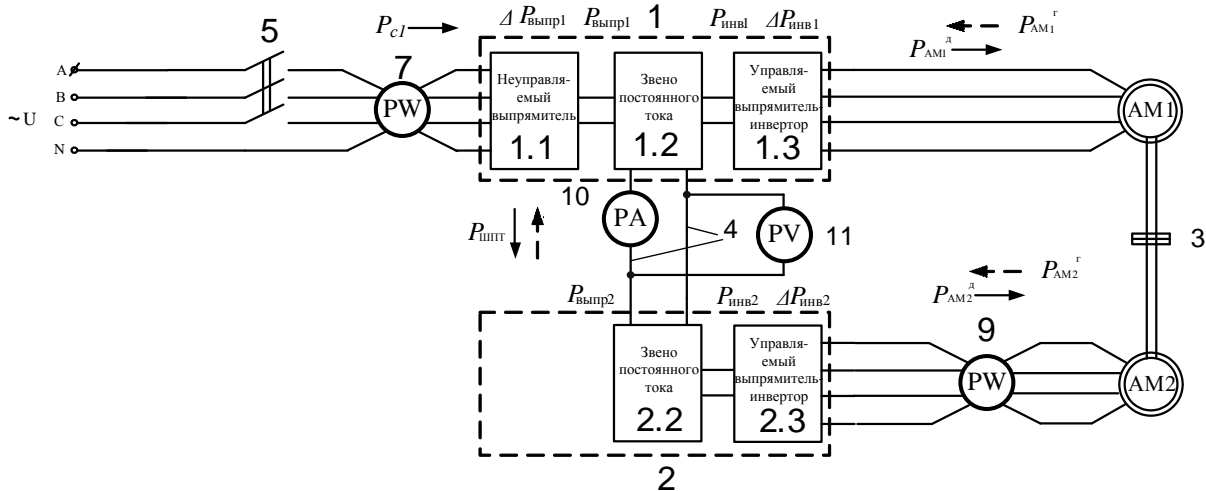


Рис. 2. Схема для испытания асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки с использованием одного преобразователя частоты и комплектом электроизмерительных приборов (первый измерительный этап)

На первом этапе проводят действия в следующей последовательности:

- подается питание из сети на выпрямитель первого преобразователя 1.1: осуществляется запуск обеих машин AM1, AM2 на холостом ходу при номинальной частоте напряжения, питающего двигателя;

- при неизменной частоте напряжения, питающего AM2, уменьшается частота напряжения, питающего AM1, за счет чего AM1 нагружается в режиме генератора, а AM2 – в режиме двигателя; проводятся измерения мощности, передаваемой через шину

постоянного тока 4, и мощности, подаваемой на двигатель AM2 от управляемого инвертора 2.3, по разности которых определяется зависимость потерь в управляемом инверторе 2.3 от мощности, потребляемой двигателем AM2:

$$\Delta P_{\text{инв}} (P_{\text{AM2д}}) = P_{\text{штт}} (P_{\text{AM2д}}) - P_{\text{AM2д}}; \quad (1)$$

- при неизменной частоте напряжения, питающего AM2, увеличивается частота напряжения, питающего AM1, за счет чего AM2 нагружается в режиме генератора, а AM1 – в

режиме двигателя; проводятся измерения мощности, передаваемой через шину постоянного тока 4, и мощности, вырабатываемой генератором AM2, по разности которых определяется зависимость потерь в управляемом инверторе 2.3 от мощности, вырабатываемой генератором AM2, и передаваемой от него в звено постоянного тока:

$$\Delta P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}}) = P_{\text{AM2г}} - P_{\text{шпт}}(P_{\text{AM2г}}); \quad (2)$$

- определяем зависимость мощности, подводимой к инвертору 2.3 второго частотного преобразователя 2, от мощности, потребляемой двигателем AM2:

$$P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2д}}) = \Delta P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2д}}) + P_{\text{AM2д}}; \quad (3)$$

- определяем зависимость мощности, подводимой к инвертору 2.3 второго частотного преобразователя 2, от мощности, вырабатываемой генератором AM2:

$$P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}}) = P_{\text{AM2г}} - \Delta P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}}). \quad (4)$$

Используя зависимости (3) и (4) получаем:

$$\Delta P_{\text{инв.д}} = f(P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2д}})); \quad (5)$$

$$\Delta P_{\text{инв.г}} = f(P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}})). \quad (6)$$

На втором этапе определяются потери в неуправляемом выпрямителе.

Измерения на втором этапе проводятся по схеме, приведенной на рисунке 1, отличие которой состоит в том, что электрическая энергия от сети в звенья постоянного тока передается по обоим неуправляемым выпрямителям одновременно. Измерения проводятся при тех же режимах работы асинхронных машин, что и на первом этапе.

В результате измерений получают следующие зависимости:

- мощности на выходе выпрямителя 2.1 второго частотного преобразователя 2 от мощности, потребляемой двигателем AM2:

$$P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2д}}) = P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2д}}) - P_{\text{шпт}}(P_{\text{AM2д}}), \quad (7)$$

где  $P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2д}})$  определяется по выражению (3);

- мощности на выходе выпрямителя 4.1 второго частотного преобразователя 4 от мощности, вырабатываемой генератором 2:

$$P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2г}}) = P_{\text{шпт}}(P_{\text{AM2г}}) - P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}}), \quad (8)$$

где  $P_{\text{инв}}(P_{\text{AM2г}})$  определяется по выражению (4);  
- потерь мощности в выпрямителе 2.1 второго частотного преобразователя 2 от мощности, передаваемой им в звено постоянного тока при работе машины AM2 как в двигательном, так и в генераторном режиме:

$$\Delta P_{\text{выпр}}(P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2д}})) = P_{\text{с}}(P_{\text{AM2д}}) - P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2д}}), \quad (9)$$

$$\Delta P_{\text{выпр}}(P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2г}})) = P_{\text{с}}(P_{\text{AM2г}}) - P_{\text{выпр}}(P_{\text{AM2г}}), \quad (10)$$

где  $P_{\text{с}}$  – мощность, потребляемая вторым частотным преобразователем 4 из сети.

Второй этап завершается определением зависимости потерь мощности в неуправляемом выпрямителе 2.1 от подводимой к нему мощности из сети:

$$\Delta P_{\text{выпр.д}} = f(P_{\text{с}}(P_{\text{AM2д}})), \quad (11)$$

$$\Delta P_{\text{выпр.г}} = f(P_{\text{с}}(P_{\text{AM2г}})), \quad (12)$$

в соответствии с выражениями (4.9) и (4.10).

Необходимо выполнить действия в соответствии с формулами (1) – (12), как для первого, так и для второго частотного преобразователя.

Составляющие  $P_{\text{с}}$ ,  $P_{\text{AM2д}}$ ,  $P_{\text{AM2г}}$ ,  $P_{\text{шпт}}$  получены по результатам измерений. Первые два этапа проводятся только один раз. Цель первых двух этапов – получение зависимостей (1) – (12) для их дальнейшего многократного использования.

Третий этап проводится следующим образом. Измеритель мощности 9 на данном этапе не требуется. При некотором установившемся режиме измеряются величины  $P_{\text{с1}}$ ,  $P_{\text{с2}}$ ,  $P_{\text{шпт}}$ , после чего выражаются и находятся следующие величины:

-  $\Delta P_{\text{выпр1}}$ ,  $\Delta P_{\text{выпр2}}$  определяются из (11), (12);

-  $P_{\text{выпр1}}$ ,  $P_{\text{выпр2}}$  определяются из (9) и (10);

-  $P_{\text{инв1}}$ ,  $P_{\text{инв2}}$  определяются из (7) и (8);

-  $\Delta P_{\text{инв1}}$ ,  $\Delta P_{\text{инв2}}$  определяются из (5), (6);

-  $P_{\text{AMд}}$  и  $P_{\text{AMг}}$  определяются из (3) и (4).

Зная зависимости потерь мощности в выпрямителях и инверторах от мощности подключенных к ним асинхронных машин (3), (4), (7), (8), можно расширить математическую модель, полученную ранее для процесса испытаний [8]. Таким образом, математическая модель принимает следующий вид из семнадцати выражений.

$$\begin{aligned} \frac{di_{1a}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{11}} \cdot \left[ u_{1a}(t) - i_{1a} \cdot R_1 + k_{1r} \cdot \left[ i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1b} - i_{1c}) + L_{12} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c})) \right] \right]; \\ \frac{di_{1b}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{11}} \cdot \left[ u_{1b}(t) - i_{1b} \cdot R_1 + k_{1r} \cdot \left[ i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1c} - i_{1a}) + L_{12} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a})) \right] \right]; \\ \frac{di_{1c}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{11}} \cdot \left[ u_{1c}(t) - i_{1c} \cdot R_1 + k_{1r} \cdot \left[ i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1a} - i_{1b}) + L_{12} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2a}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{12}} \cdot \left[ k_{1s} \cdot (u_{1a}(t) - i_{1a} \cdot R_1) + \left[ i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1b} - i_{1c}) + L_{12} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2b}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{12}} \cdot \left[ k_{1s} \cdot (u_{1b}(t) - i_{1b} \cdot R_1) + \left[ i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1c} - i_{1a}) + L_{12} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2c}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_1 \cdot L_{12}} \cdot \left[ k_{1s} \cdot (u_{1c}(t) - i_{1c} \cdot R_1) + \left[ i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{12} \cdot (i_{1a} - i_{1b}) + L_{12} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})) \right] \right]; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{-p}{J \cdot \sqrt{3}} \cdot [i_{1a} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c}) + i_{1b} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a}) + i_{1c} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})] \cdot L_{12} + \dots \\ &\dots + \frac{-p}{J \cdot \sqrt{3}} \cdot [i_{2a} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c}) + i_{2b} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a}) + i_{2c} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})] \cdot L_{22} - \frac{M_{\text{пот}}}{J} \cdot \text{sign}(\omega); \\ \frac{di_{2a}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{21}} \cdot \left[ u_{2a}(t) - i_{2a} \cdot R_1 + k_{2r} \cdot \left[ i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2b} - i_{2c}) + L_{22} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c})) \right] \right]; \\ \frac{di_{2b}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{21}} \cdot \left[ u_{2b}(t) - i_{2b} \cdot R_1 + k_{2r} \cdot \left[ i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2c} - i_{2a}) + L_{22} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a})) \right] \right]; \\ \frac{di_{2c}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{21}} \cdot \left[ u_{2c}(t) - i_{2c} \cdot R_1 + k_{2r} \cdot \left[ i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2a} - i_{2b}) + L_{22} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2a}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{22}} \cdot \left[ k_{2s} \cdot (u_{2a}(t) - i_{2a} \cdot R_1) + \left[ i'_{2a} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2b} - i_{2c}) + L_{22} \cdot (i'_{2b} - i'_{2c})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2b}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{22}} \cdot \left[ k_{2s} \cdot (u_{2b}(t) - i_{2b} \cdot R_1) + \left[ i'_{2b} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2c} - i_{2a}) + L_{22} \cdot (i'_{2c} - i'_{2a})) \right] \right]; \\ \frac{di'_{2c}}{dt} &= -\frac{1}{\sigma_2 \cdot L_{22}} \cdot \left[ k_{2s} \cdot (u_{2c}(t) - i_{2c} \cdot R_1) + \left[ i'_{2c} \cdot R'_2 + \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot (L_{22} \cdot (i_{2a} - i_{2b}) + L_{22} \cdot (i'_{2a} - i'_{2b})) \right] \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{инв.д}} &= f(P_{\text{AM2д}}); \\ \Delta P_{\text{инв.г}} &= f(P_{\text{AM2г}}); \\ \Delta P_{\text{выпр.д}} &= f(P_{\text{AM2д}}); \\ \Delta P_{\text{выпр.г}} &= f(P_{\text{AM2г}}). \end{aligned}$$

### Заключение

Практическая ценность представленной методики для определения мощности заключается в том, что при номинальной частоте напряжения испытываемых двигателей равной 50 Гц требуются измерительные приборы, рассчитанные на эту же частоту напряжения, что значительно упрощает схему и уменьшает стоимость необходимого оборудования.

Полученные в соответствии с данной методикой зависимости позволяют дополнить разработанную ранее математическую модель

[8], и учесть потери в элементах частотных преобразователей.

Уточненная математическая модель позволяет более точно определять мощность, потребляемую стендом при испытаниях асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Таким образом, появляется возможность при известных параметрах испытуемых двигателей и частотных преобразователей на этапе проектирования испытательного стенда согласовать его параметры с параметрами питающей цеховой сети.

## Библиографический список

1. Жерве, Г.К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. ГОСТ 11828–86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. – Введ. 1987-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 42 с.
3. ГОСТ 2582–2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 2015-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 51 с.
4. ГОСТ Р 53472–2009. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. – Введ. 2009-12-09. – М. : Стандартинформ, 2011. – 41 с.
5. Пат. 140678 РФ: МПК G01R 31/34: Схема испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В.Д. Авилов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов ; ОмГУПС. – № 2013147519/28 ; заявл. 24.10.2013 ; опубл. 20.05.2014, Бюл. №14.
6. Пат. 80018 РФ: МПК G01R 31/04: Устройство для испытания тяговых электродвигателей / Е.В. Бейерлейн, О.Л. Рапопорт, А.Б. Цукублин ; ТПУ. – № 2008115647/22 ; заявл. 21.04.2008 ; опубл. 20.01.2009, Бюл. №2.
7. Пат. 2433419 РФ: МПК G01R 31/34: Способ испытания асинхронных электродвигателей методом их взаимной нагрузки / В.Д. Авилов, А.И. Володин, В.Т. Данковцев, В.В. Лукьянченко, Е.В. Панькин ; ОмГУПС. – № 2010124307/28 ; заявл. 15.06.2010 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. №31.
8. Авилов, В.Д. Математическая модель процесса испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В.Д. Авилов, Д.И. Попов, А. В. Литвинов // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 5 (33). – С. 75–81.

### METHOD OF DETERMINING POWER AND MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL PROCESSES IN TESTING TRACTION INDUCTION MOTORS BY MUTUAL LOADS

V. V. Kharlamov, D. I. Popov, A. V. Litvinov

**Abstract.** In this article suggested the method of determining power when testing traction induction motors and the mathematical model of tests updated by taking into account the power losses in uncontrolled rectifiers and controlled inverters included in the frequency converters. To refine the mathematical model proposed to use the method of determining the dependency of the losses in the elements of frequency converters, located in the structure of the scheme of mutual loads of induction motors, the magnitude of the consumed and generated power of test and load machine.

**Keywords:** induction motor, frequency converter, the test method of mutual loading, mathematical model.

## References

1. Gervais G.K. *Promyshlennye ispytaniya elektricheskikh mashin* [Industrial testing of electrical machines]. Leningrad, 1984. 408 p.
2. GOST 11828-86. Mashiny jelektricheskie vrashhajushhiesja. Obshhie metody ispytaniy [Rotating electrical machines. General test methods.].
3. GOST 2582-2013. Mashiny jelektricheskie vrashhajushhiesja tjagovye. Obshhie tehnicheckie uslovija [Rotating traction electrical machines. General technical conditions.].
4. GOST P 53472-2009. Mashiny jelektricheskie vrashhajushhiesja. Dvigateli asinhronnye. Metody ispytaniy [Rotating electrical machines. Induction motors. Test methods.].
5. Avilov V.D., Popov D.I., Litvinov A.V. Shema ispytaniy asinhronnykh dvigatelej metodom ih vzaimnoj nagruzki [The experimental design of induction motors by the method of mutual loading]. Patent RF, no 140678, 2014.
6. Beierlein E.V., Rapoport O.L., Culublin A.B. Ustrojstvo dlja ispytaniya tjagovykh elektrodvigatelej [Test rig for induction tractive motors]. Patent RF, no 80018, 2009.
7. Avilov V.D., Volodin A.I., Dankovcev V.T., Lukjanchenko V.V., Pankin E. V. Sposob ispytaniy asinhronnykh elektrodvigatelej metodom ih vzaimnoj nagruzki [Method of testing induction motors by the method of mutual loading]. Patent RF, no 2433419, 2011.
8. Avilov V.D., Popov D.I., Litvinov A.V. *Matematicheskaya model processa ispytaniy asinhronnykh dvigatelej metodom ih vzaimnoj nagruzki* [Mathematical modeling of back-to-back method in testing induction motor]. Vestnik Sibadi, 2013, no. 5 (33), pp. 75-81.

*Харламов Виктор Васильевич (Омск, Россия)*  
– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения (644046, г. Омск, Пр. Маркса, 35, e-mail: emoe@omgups.ru).

*Попов Денис Игоревич (Омск, Россия)*  
– кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения (644046, г. Омск, Пр. Маркса, 35, e-mail: popovomsk@yandex.ru).

*Литвинов Артём Валерьевич (Омск, Россия)*  
– кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Локомотивы» Омского государственного университета путей сообщения (644046, г. Омск, Пр. Маркса, 35, e-mail: artyom\_hawk@mail.ru).

Viktor V. Kharlamov (Omsk, Russian Federation)  
– Doctor of Technical Sciences, Head of the departa-

*ment, Department of Electrical machines and general electrical engineering, Omsk State Transport University (644046, Russia, Omsk, Marksa pr., 35, e-mail: emoe@omgups.ru).*

*Denis I. Popov (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of Electrical machines and general electrical engineering, Omsk State Transport University*

*(644046, Russia, Omsk, Marksa pr., 35, e-mail: popovomsk@yandex.ru).*

*Artyom V. Litvinov (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Senior lecturer, Department of Locomotives, Omsk State Transport University (644046, Russia, Omsk, Marksa pr., 35, e-mail: artyom\_hawk@mail.ru).*



## РАЗДЕЛ II

# ТРАНСПОРТ

УДК 625.76

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПИТАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

Д.С. Алешков, Н.Ю. Аюпова  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** В статье представлена методика проведения экспериментальных исследований движения снежной частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя. Также приведены результаты экспериментальных исследований траектории движения частицы в физической модели питателя фрезерно-роторного снегоочистителя, на основании которых были получены уравнения регрессии, описывающие движение частицы в питателе по заданным параметрам. Проведено сравнение полученных результатов с результатами имитационного эксперимента, на основании которого делается вывод об адекватности математической модели.

**Ключевые слова:** фрезерно-роторный снегоочиститель, экспериментальные исследования, уравнения регрессии.

#### Введение

Наряду с математическими моделями при проектировании технических систем широко применяются физические модели. Математические модели позволяют осуществлять имитационное моделирование процессов функционирования технических систем во времени, анализировать кинематические характеристики, определять действующие величины сил и их изменения во времени [1, 2].

Обычно математические модели технических систем представляют собой системы нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка. Однократное

решение такой системы на ЭВМ требует значительных временных затрат, при этом единственным способом проверить адекватность математической модели и результатов ее решения является использование реального объекта или его физической модели, которая может быть построена на основе проведения экспериментов непосредственно на самом физическом объекте [3, 4].

Для проверки работоспособности предлагаемой математической модели работы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя (рис. 1) были проведены экспериментальные исследования.



Рис. 1. Питатель фрезерно-роторного снегоочистителя

### Проведение эксперимента и определение уравнения регрессии

В результате предыдущих исследований была составлена математическая модель и в результате ее численного решения на ЭВМ получены траектории движения снежных частиц в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя, изменение вектора абсолютной скорости снежной частицы и сил, действующих на снежную частицу в питателе [5, 6, 7, 8].

В данной статье описан однофакторный эксперимент, проведенный на масштабной физической модели, в качестве которой использовалась модель фрезерно-роторного снегоочистителя, коэффициент подобия данной физической модели составляет  $k = 1$ .

(рис. 2) [2, 9]. Радиус ротора, скорость снегоочистителя, коэффициент трения снежной частицы о поверхность отвала, коэффициент трения снежной частицы о ленту фрезы, угол захода ленты фрезы являлись фиксированными параметрами. Использовались следующие значения фиксированных параметров:

- радиус фрезы 0,21 м;
- угол захода ленты фрезы  $12^\circ$ ;
- диаметр транспортируемого тела 0,022 м;
- коэффициент трения тела по поверхности отвала 0,26;
- коэффициент трения тела по поверхности ленте фрезы 0,26.

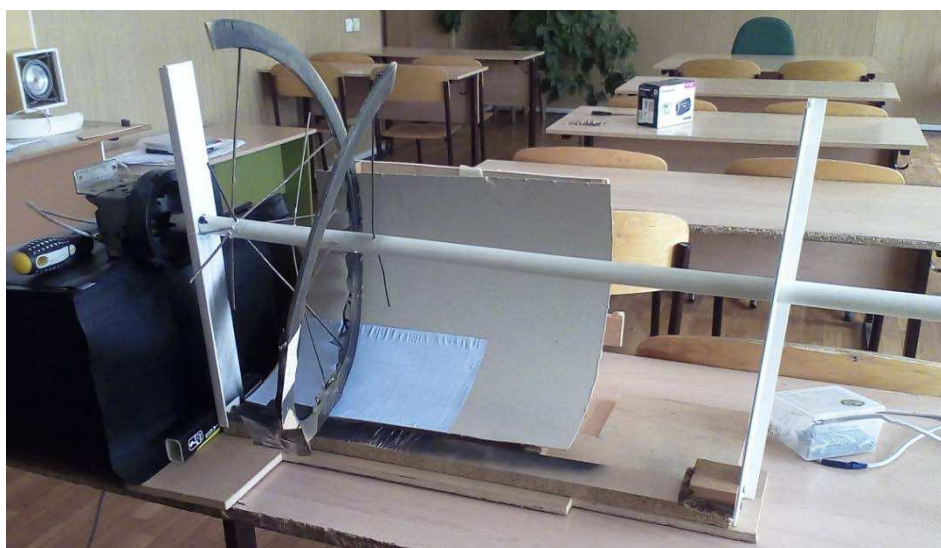


Рис. 2. Исследуемая физическая модель питателя фрезерно-роторного снегоочистителя

Варьируемыми параметрами являлась угловая скорость вращения фрезы, величина которой принимала следующие значения: 8, 10 и  $15 \text{ c}^{-1}$ .

В результате планирования однофакторного эксперимента было установлено минимально необходимое количество опытов, необходимых для подтверждения адекватности математической модели [4], их количество составило  $2^n + 2n + 1 = 5$ . В каждом случае было проведено по 6 испытаний.

Суть эксперимента заключалась в следующем:

- сферическая частица, диаметром 0,022 м, из полимерного материала с коэффициентом внешнего трения, 0,26, из состояния покоя,  $v = 0$ , под действием фрезы совершала движение в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя;

- фиксировалась траектория движения частицы на расстоянии, равном шагу ленты фрезы, посредством видеосъемки на видеокамеру Panasonic HC-V130. Технические характеристики которой, представлены в таблице 1;

## ТРАНСПОРТ

Таблица 1 – Технические характеристики средства видеорегистрации

Формат видеозаписи: [AVCHD] совместимый с форматом AVCHD версии 2.0
[iFrame], [MP4] совместимый с форматом файлов MPEG-4 AVC (MP4)
Сжатие видео: MPEG-4 AVC/H.264
Рабочая температура: 0 °С до 40 °С
Рабочая влажность: 10 % RH до 80 % RH

- полученное видеоизображение движения частицы преобразовывалось в отдельные видеокadres в программе Windows Movi Maker;

- масштабный коэффициент определялся как отношение размера частицы на видеоизображении, к ее реальному физическому размеру. Величина масштабного коэффициента составила 0,455, в введенной системе координат OXY, где ось OY совпадает с осью вращения фрезы, а ось OX находится в горизонтальной плоскости и направлена в сторону отвала питателя.

- по полученным кадрам осуществлялось определение скоростей движения частицы и угловая скорость вращения фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя. Для этого по известной величине скорости съемки, которая составляла 26 кадр/с, брались с заданным шагом соседние кадры

съемки и делились на величину скорости съемки, таким образом, определялись интервалы движения. Затем сравнением положения частицы на соседних кадрах определялось расстояние, пройденное частицей, после произведения полученного расстояния на масштабный коэффициент, определялось реальное расстояние, пройденное частицей за исследуемый интервал времени;

- отношение определенного расстояния на интервал времени давало скорость движения частицы за исследуемый интервал времени.

На рис. 3, 4, 5 представлены траектории движения частицы, полученные в результате проведенного эксперимента и в результате расчета на ЭВМ математической модели с теми же данными.

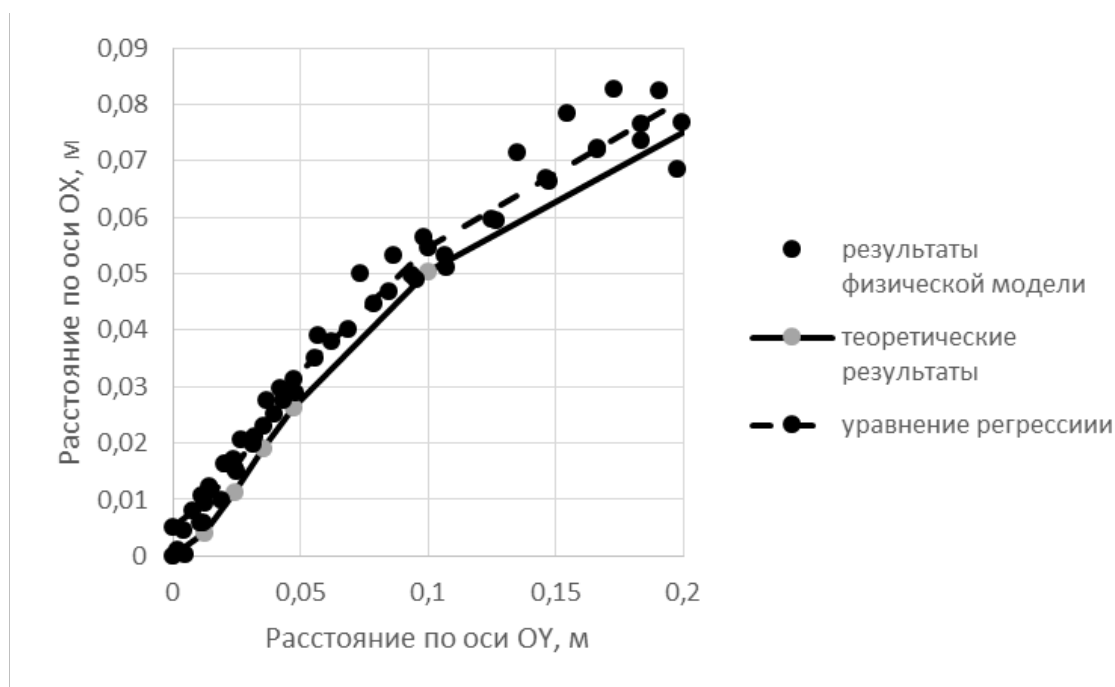


Рис. 3. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя

## ТРАНСПОРТ

при угловой скорости вращения фрезы  $8 \text{ c}^{-1}$

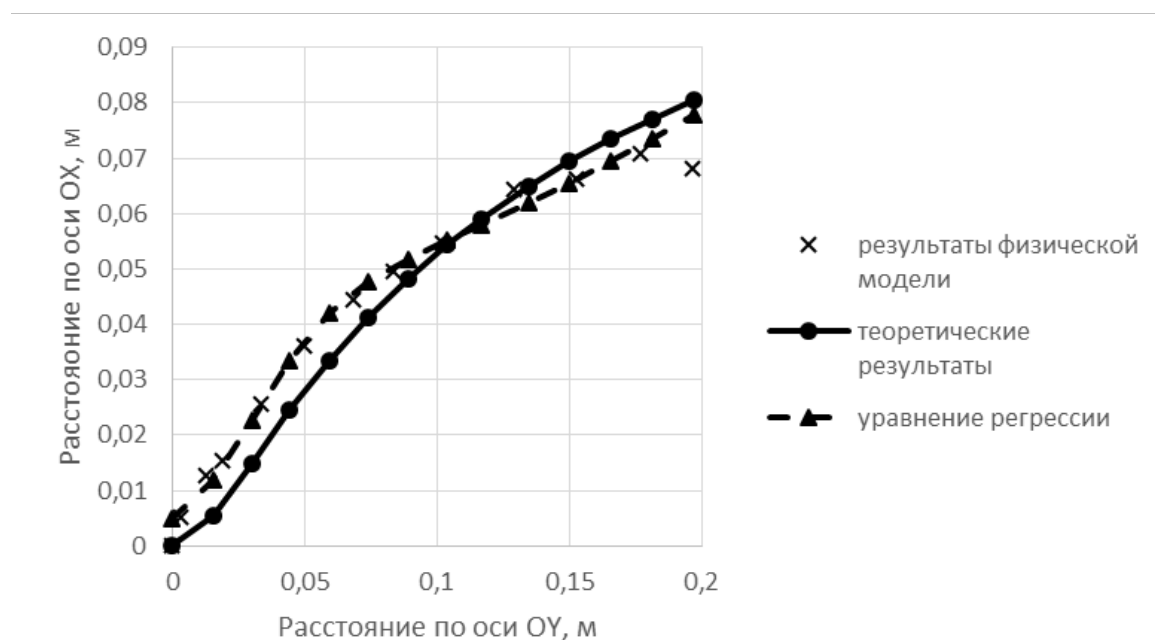


Рис. 4. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя при угловой скорости вращения фрезы  $10 \text{ c}^{-1}$

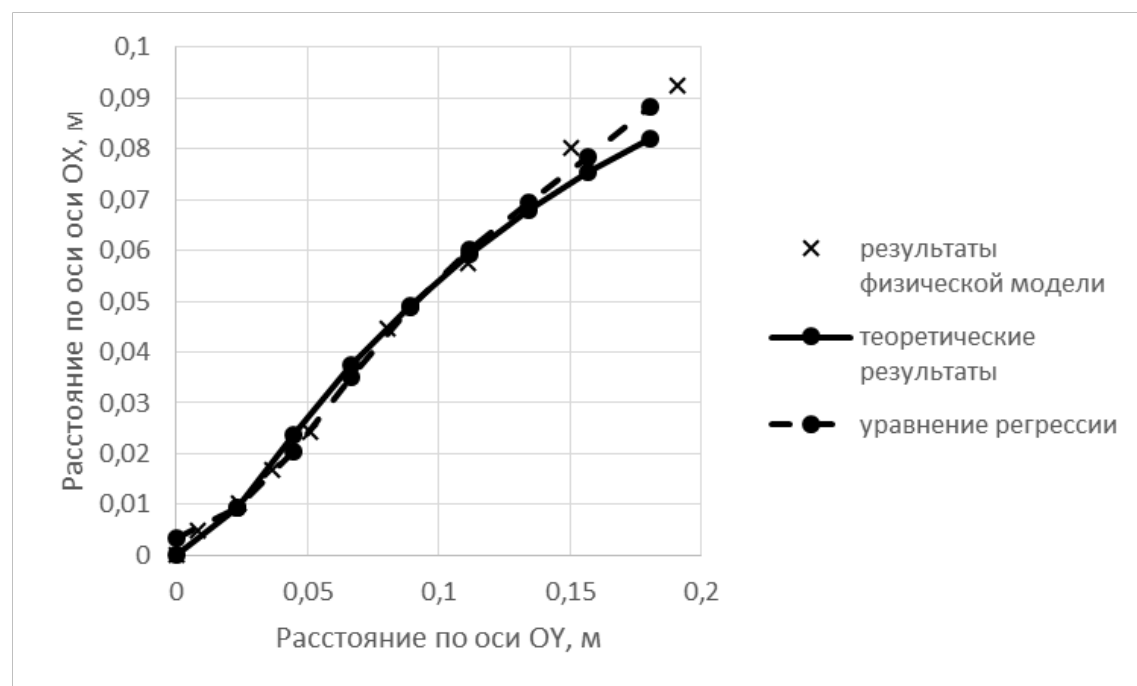


Рис. 5. Траектория движения частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя при угловой скорости вращения фрезы  $15 \text{ c}^{-1}$

Уравнения регрессии по полученным экспериментальным данным при заданных фиксированных параметрах определялись с помощью программного продукта Statistica [1, 4]. Уравнения регрессии, определяющее горизонтальную проекцию траектории движения частицы в питателе имеет вид:

$X = \exp((-5,14) + (59,49) * y) / (1 + \exp((-1,89) + (55,81) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $8 \text{ с}^{-1}$ ;

$X = \exp((-5,18) + (71,48) * y) / (1 + \exp((-1,91) + (67,85) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $10 \text{ с}^{-1}$ ;

$X = \exp((-5,57) + (50,39) * y) / (1 + \exp((-2,29) + (45,59) * y))$ , для угловой скорости вращения фрезы питателя  $15 \text{ с}^{-1}$ .

Максимальное абсолютное отклонение составило: 0,0057, 0,0106, 0,03 м, для угловых скоростей вращения фрезы питателя 8, 10 и  $15 \text{ с}^{-1}$ , соответственно. Относительное отклонение траектории движения частицы в эксперименте и траектории движения, полученной в результате решения математической модели, составило: 12, 11, 12%, для угловых скоростей вращения фрезы питателя 8, 10 и  $15 \text{ с}^{-1}$ , соответственно.

#### Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о соответствии результатов полученных в результате имитационного моделирования математической модели на ЭВМ и экспериментальных результатов, полученных на физической модели питателя фрезерно-роторного очистителя, и соответственно, адекватности предлагаемой математической модели.

#### Библиографический список

1. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учеб. пособие для вузов / В. И. Баловнев. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1994. – 432 с.
2. Щербаков, В. С. Оптимизация конструктивных параметров гидравлических рулевых механизмов строительных и дорожных машин / В. С. Щербаков, А. В. Жданов. – Омск : СибАДИ, 2010. – 176 с.
3. Закиров, М. Ф. Определение оптимальной скорости перемещения шнекороторного снегоочистителя методом анализа четвертой координаты рабочего процесса / М. Ф. Закиров // Интерстроймех–2015 : материалы Международной научно-технической конференции. Казань, 09-11 сент. 2015 г. / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2015. – С. 98–102.
4. Портнова, А. А. Результаты экспериментальных исследований физической модели автогрейдера /

А. А. Портнова, Е. Д. Комаров // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 6 (34). – С. 87–91.

1. Алешков, Д. С. Нелинейная множественная регрессия показателей рабочего процесса фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя / Д. С. Алешков, Н. Ю. Аюпова // Техника и технологии строительства [Электронный ресурс]. – 2015. – № 3 (3). – С. 6–10. – Режим доступа: [http://lib.sibadi.org/pdfs/?url=/wpcontent/files\\_mf/1461662732ESD74.pdf&post\\_id=8942](http://lib.sibadi.org/pdfs/?url=/wpcontent/files_mf/1461662732ESD74.pdf&post_id=8942) (дата обращения к ресурсу: 13.09.2016).

5. Алешков, Д. С. Влияние кинематических характеристик питателя и базовой машины фрезерно-роторного снегоочистителя на процесс отделения стружки / Д. С. Алешков, Н. Ю. Урусова // Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии. – 2012. – Вып. 5 (27). – С. 7–10.

6. Алешков, Д. С. Математическое описание работы фрезы питателя / Д. С. Алешков, Н. Ю. Урусова // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы первой Международ. науч.-практ. конф. 23-24 мая 2013 г. / УрГУПС, КИЖТ. – Курган, 2013. – С. 6–9.

7. Аюпова, Н. Ю. Определение критерия эффективности работы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя / Н. Ю. Аюпова // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы III Международной науч.-практ. конф. 4-5 июня 2015 г. : в 2-х ч. / УрГУПС, КИЖТ. – Курган, 2015. – Ч. 1. – С. 32–35.

8. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

#### RESULTS OF PILOT STUDIES OF PHYSICAL MODEL OF A FEEDER OF A MILLING AND ROTOR SNOWPLOW

D.S. Aleshkov, N.Y. Ayupova

**Abstract.** The technique of conducting pilot studies of the movement of a snow particle in a feeder of a milling and rotor snowplow is presented in article. Results of pilot studies of a trajectory of the movement of a particle are also given in physical model of a feeder of a milling and rotor snowplow and their comparison with results of an imitating experiment on the basis of which the conclusion about adequacy of mathematical model is drawn.

**Keywords:** snow cutter blower; pilot studies, regression equations.

#### References

1. Balovnev, V. I. Modeling of processes of interaction with the circle of workers of bodies of roadway construction equipments: studies. benefit for higher education institutions / V. I. Balovnev. - 2nd prod., reslave. – M.: Mechanical engineering, 1994. – 432 pages.

2. Scherbakov, V. S. Optimization of design data of hydraulic steering mechanisms of construction and road machines / V. S. Scherbakov, A. V. Zhdanov. – Omsk: SIBADI, 2010. – 176 pages.

3. Zakirov, M. F. Determination of optimum speed of movement of a shnekorotorny snowplow by method of the analysis of the fourth coordinate of working process / M. F. Zakirov//Interstroy Mekh-2015: materials of the international scientific and technical conference. Kazan, 09-11 Saint. 2015 / Kazan state architectural and construction university. – Kazan, 2015. – Page 98-102.

4. Portnova, A. A. Results of pilot studies of physical model of an autograder / A. A. Portnova, E. D. Komarov//Messenger of SIBADI. - 2013. - No. 6 (34). - Page 87-91.

5. Aleshkov, D. S. Nonlinear multiple regression of indicators of working process of a mill of a feeder of a milling and rotor snowplow [An electronic resource] / D. S. Aleshkov, N. Y. Ayupova//Technician and technology of a construction / SIBADI. – Omsk: SIBADI, 2015. - No. 3 (3). – Page 6-10. - Access mode: [http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files\\_mf/1461662732ESD74.pdf&post\\_id=8942](http://lib.sibadi.org/pdfjs/?url=/wpcontent/files_mf/1461662732ESD74.pdf&post_id=8942). – Date of the address: 13.09.2016.

6. Aleshkov, D. S. Influence of kinematic characteristics of a feeder and basic machine of a milling and rotor snowplow on process of department of shaving / D. S. Aleshkov, N. Y. Urusova//Messenger of the Siberian automobile and road academy. – Omsk: SIBADI, 2012. – Issue 5 (27). – Page 7-10.

7. Aleshkov, D. S. The mathematical description of work of a mill of a feeder / D. S. Aleshkov, N. Y. Urusova//Innovations and researches in a transport complex: materials of the first Mezhdunar. nauch. -

прат. конф. On May 23-24, 2013 / URGUPS, KIZhT. - Barrow, 2013. - Page 6-9.

8. Ayupova, N. Y. Determination of criterion of overall performance of a feeder of a milling and rotor snowplow / N. Y. Ayupova//Innovations and researches in a transport complex: materials III International науч. - прат. конф. June 4-5, 2015: in 2 h / URGUPS, KIZhT. – Barrow, 2015. – P.1. – Page 32-35.

9. Krasovsky, G. I. Planning of an experiment / G. I. Krasovsky, G.F. Filaretov. – Minsk: BGU publishing house, 1982. – 302 pages.

Алешков Денис Сергеевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080. г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kaf\_bzhd@sibadi.org).

Аюпова Наталья Юрьевна (Омск, Россия) – учебный мастер кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080. г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: urusova\_n@mail.ru).

Denis S. Aleshkov (Omsk, Russian Federation) – Candidate Technical Science, Head of the “Safety of Live Activity” Department, Sibirskaya State Automobile and Highway Academy «SibADI», (644080, Omsk, Mira av, 5, e-mail: kaf\_bzhd@sibadi.org).

Natalia Y. Ayupova (Omsk, Russian Federation) – Training Wizard of the “Safety of Live Activity” Department, Sibirskaya State Automobile and Highway Academy «SibADI», (644080, Omsk, Mira av, 5, e-mail: urusova\_n@mail.ru).

УДК 656:338.5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА НА ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Е.В. Бударина, А.С. Лебедева

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет  
информационных технологий, точной механики и оптики»

**Аннотация.** В статье представлен обзор и сравнительный анализ систем оплаты проезда (СОП) на общественном наземном городском транспорте крупных городов, определены преимущества и недостатки использования СОП различных видов, традиционных и инновационных, в том числе не получивших массового распространения; выявлены эволюционные особенности смены приоритетов в использовании современных систем оплаты проезда; выделены факторы, определяющие эволюцию СОП в соответствии с технологическими изменениями в транспортных системах городов; выделены и рекомендованы к внедрению в России

*наиболее перспективные инновационные СОП по параметрам экономичности и социальной значимости; определены направления получения надёжной информации о социальных и экономических эффектах от внедрения СОП.*

**Ключевые слова:** оплата проезда; общественный транспорт; инновационные системы оплаты.

### **Введение**

Потребность населения в мобильности возрастает с каждым годом, что обусловлено увеличением благосостояния трудящихся, доступностью материальных благ, развитием транспортной инфраструктуры, трансформацией социокультурных взаимоотношений общества и другими факторами. Потребность в ежедневных передвижениях в крупных городах удовлетворяется на 50-60% с помощью общественного транспорта.

Предпочтения населения отдаются в последние годы автомобилю, его использует - 34%. В то время как 19% населения отдают предпочтение общественному транспорту. Треть автовладельцев не считают личный транспорт предметом первой необходимости и могли бы обойтись без него, 32% автовладельцев вообще не используют общественным транспортом, так как считают его менее удобным, и только 31% использует его в своих ежедневных поездках [1]. Такая статистика свидетельствует о том, что общественный транспорт не в полной мере удовлетворяет потребности населения по качеству и мобильности, что во многом определяет популярность личного транспорта, комфортного, независимого, но все же достаточно дорогого. Вместе с тем рост автомобилизации влечет за собой экологические, инфраструктурные и другие проблемы, решить которые можно повышая привлекательность общественного транспорта и обеспечивая высокое качество пассажирских перевозок, особенно в мегаполисах.

Согласно данным Комитета по транспорту г. Санкт-Петербурга автобусные перевозки занимают второе место по объему перевезенных пассажиров и уступают по данному показателю только ГУП «Петербургский метрополитен», объем транспортной работы, которого в 2016 году составил 43% от общего объема пассажирских перевозок. Благодаря своей гибкости, автобусный транспорт обслуживает большую часть маршрутов, чем остальной наземный городской транспорт [2].

Согласно опросам общественного мнения [3] комфортность перемещения в автобусе является одним из самых важных факторов

для пассажиров при выборе между личным и общественным транспортом. Удобство оплаты проезда является главным показателем комфортности перемещения. Современные системы оплаты проезда (СОП), предполагают использование специальных технологических устройств в салонах автобусов и позволяют обеспечить быстрый, удобный, справедливый и эффективный способ оплаты проезда. Часто инновационные СОП сосуществуют с традиционными системами (кондукторы, кассы самообслуживания), но популярность современных высокотехнологичных СОП на базе информационно-визуальных комплексов позволяет обеспечить удобство использования общественного городского транспорта и снизить количество жалоб пассажиров на качество обслуживания

Инновационные СОП позволяют частично или полностью автоматизировать процесс оплаты, дают множественные эффекты, как положительные, так и отрицательные, что определяет возникновение рисков различного характера. Исследование и оценка существующих и планируемых к внедрению в мегаполисах СОП, позволят снизить риски и повысить эффективность их применения в практике общественного городского транспорта.

### **Методика исследования**

Таким образом, целью исследования является выявление наиболее перспективных СОП для использования на городском пассажирском автобусном транспорте г. Санкт-Петербурга на основании анализа результатов многокритериальной оценки традиционных и инновационных технологий оплаты проезда.

В соответствии с поставленной целью в ходе исследования была предпринята попытка решить следующие задачи:

1. Сформировать перечень и дать описание различий традиционных и инновационных СОП.

2. Определить методику и сформулировать критерии сравнительной оценки СОП для общественного транспорта.

3. Провести сравнительную оценку СОП с привлечением экспертов в данной области, выявить наиболее перспективные из них для использования на общественном автобусном транспорте Санкт-Петербурга.

4. Оценить практическую значимость полученных результатов и дать рекомендации по использованию его результатов.

Использование методов логического и сравнительного анализа, проведение экспертного опроса на основе балльно-рейтингового метода обеспечило обоснованность и надежность полученных результатов.

### **Основные результаты исследования**

На общественном транспорте в РФ и за рубежом используется несколько систем оплаты проезда, которые условно можно отнести к двум большим группам, в основании которых лежит использование традиционных и инновационных методов оплаты. Так, к традиционным относят оплату проезда: кондуктору или водителю за приобретенные билеты; наличными через автоматическую кассу (компостеры) внутри или вне транспортных средств; банковской картой через автоматическую кассу внутри или вне транспортных средств; автоматизированную систему оплаты проезда (АСОП) с помощью электронного проездного билета или бесконтактной смарт-карты. Безусловно, многолетнее использование традиционных форм и систем оплаты проезда в общественном транспорте сформировало привычное отношение к процессу. К инновационным методам относят оплату проезда с использованием методов, каждый из которых имеет преимущества и недостатки: автоматизированную систему оплаты проезда (АСОП) с использованием банковских карт, подключенных к общей системе - PayPass и PayWave; с помощью мобильного телефона (NFC-чип); с использованием сканирующего отпечаток пальца оборудования.

Рассмотрим существующие методы оплаты проезда в общественном транспорте подробнее.

Система оплаты проезда кондуктору или водителю посредством приобретения билетов является одной из самых ранних и действует в настоящее время. Бумажные билеты используют разного вида: разовые и с правом проезда на определенном виде транспорта в течение заданного времени. Последний вариант в настоящее время в РФ не используется.

Оплата наличными через автоматическую кассу также предусматривает приобретение разового билета и не требует участия в этом процессе кондуктора или водителя. Дополнительные затраты необходимы на установку и обслуживание аппаратов на остановках, в салоне транспортного средства в удобном месте, которые выдают билет

после внесения определенной суммы наличных денег. Аппараты для оплаты проезда разнообразны, различаются и по стоимости, и по набору основных функций. Чем больше набор функций и автономность работы аппарата, тем он дороже. При использовании метода значительно сокращаются затраты на «живой труд» кондукторов, контролеров и водителей, если они вовлечены в процесс сбора платы за проезд. В тоже время, растет риск неоплаты проезда некоторыми гражданами вообще, поскольку «нет надзора». То есть увеличивается доля «зайцев» и сокращаются объемы сборов оплаты проезда.

Метод оплаты проезда в современных аппаратах с использованием банковской карты избавляет пассажира от необходимости иметь наличные средства определенного номинала, однако требует участия в более сложной операции оплаты с введением кода, что увеличивает время на приобретение одного билета и создает очереди внутри и вне салона транспортного средства.

Широкое распространение не только в крупных городах в последнее время получили автоматизированные системы оплаты проезда (АСОП) с помощью электронного билета (платежный билет «Электронный кошелек»), который дает право на пользование транспортными услугами в пределах фиксированной суммы и позволяет пользоваться одним или несколькими видами транспорта по единому тарифу на фиксированное количество поездок. Функцию электронного билета выполняют как бесконтактная смарт-карта (БСК), так и бесконтактная электронная пластиковая карта (БЭПК), имеющие в основе разные технологии хранения и считывании информации, представляющие собой технологический вариант проездных билетов на основе магнитной карты. Использование этого метода оплаты требует приобретения носителя электронного билета и регулярного пополнения его ресурса, как через кассы продажи проездных билетов, так и через автоматические кассы наличными или с помощью банковских карт, интернет-ресурсов, мобильных телефонов. На электронный носитель одновременно могут быть оформлены разные виды проездных билетов длительного пользования. Использование метода не исключает проверок оплаты проезда контроллером или кондуктором. Как правило, электронный билет содержит персональные данные о владельце, но также существуют варианты БСК обобщенного типа, не являющиеся именными и



предназначенные для проезда на одном виде транспорта. Функциональные возможности электронных билетов широки: учитывают льготы в оплате проезда, легкость пополнения ресурса, предложение скидок за интенсивность использования, за проезд группы лиц и другие. Например, в Санкт-Петербурге используются носители БЭПК «Подорожник», «М-карта с ЭК», БСК «Русский стандарт», БСК «ПРО100», БЭПК «Карта гостя», наклейка на мобильный телефон «Мегафон», БСК «Газпромбанк», БСК «Мастер-Банк», имеющие различный функционал. Носителем электронного билета может выступать БСК иного назначения. Например, для студентов возможна оплата проезда с использованием карты ISIC – международного удостоверения, подтверждающего статус учащегося, которое также предоставляет право на скидки и привилегии в различных сферах.

Этот метод оплаты можно назвать переходным от традиционных к инновационным, использует созданную инфраструктуру, требует ее инновационного и технологического обновления и развития. Разнообразие носителей электронного билета определяет дифференциацию достоинств и недостатков метода оплаты проезда.

К инновационным методам оплаты проезда на общественном транспорте относят автоматизированные системы оплаты проезда с использованием информационных технологий и технологий бесконтактной передачи информации, ее обработки и накопления, на основе роста уровня защиты персональной информации пассажиров и потоков больших данных банков, перевозчиков, систем автоматизированного управления транспортом. Рассмотрим такие методы.

Во многих мегаполисах высокую эффективность показывает АСОП с использованием технологии PayPass и PayWave на основе банковской платежной системы, что является технологической трансформацией электронного билета по стандартам Международной электротехнической комиссии и Международной организации по стандартизации ISO/IEC 14443. Технология позволяет передавать сигнал на частоте 13,56 МГц и действуют в радиусе 10 см. Эти карты также имеют чип, с помощью которого услуги можно оплачивать обычным способом, вставляя карту в терминал. Для оплаты проезда и списания средств карту необходимо поднести к специализированному считывающему устройству, где банковская карта выполняет 2 функции - оплаты проезда в общественном транспорте и платежного средства, с

упрощением операции перевода средств с банковской карты на электронный билет. Упрощается операция оплаты (не надо вводить PIN-код), ускоряются транзакции по сбору оплаты проезда, усиливается защита персональных данных и доступа к денежному счету владельца карты. Для различного типа банковских карт возможно использование различных банковских систем: PayPass для MasterCard, AmericanExpress, ПРО100, Золотая корона; PayWave для Visa, Diners Club, JCB и др.

В связи с совершенствованием мобильных телефонов и расширением их функционала метода оплата проезда с помощью мобильных устройств также динамично развивается, но в основном за рубежом. Использование мобильного телефона для оплаты проезда в транспорте требует установки специального микрочипа в или на корпус телефона (NFC-чип), но не требует обновления телефона. NFC-чип Near Field Communication - технология беспроводной высокочастотной связи малого радиуса действия (до 3-5 см), позволяет установить двусторонний бесконтактный обмен данными между мобильными телефонами, смарт-картами, платёжными терминалами, системами контроля доступа и другими устройствами. Оплата проезда происходит при поднесении телефона к валидатору, с мобильного счета плательщика списывается стоимость проезда. Оплата проезда, заказ билетов и пополнение количества поездок возможны с помощью sms-сервиса.

Метод оплаты проезда в общественном транспорте по отпечатку пальца предусматривает создание базы данных с отпечатками пальцев пользователей общественного транспорта, по которым устанавливается связь со счётом для списания денежных средств для оплаты проезда. Прикладывая палец к специальному считывающему устройству, пассажир «посылает» запрос в базу данных. При этом отпечаток в базе данных не хранится, хранится его математическая модель. Этот метод оплаты проезда еще только формируется как модель, прорабатываются детали его применения, проводятся эксперименты для устранения проблем внедрения. Тенденция к сокращению количества носимых человеком мобильных устройств акцентирует внимание на этом методе, как обеспечивающем максимальное удобство для пользования, но требует решения многих проблем: защиты персональных данных, доступа к информации и ее использованию, социальных

## ТРАНСПОРТ

проблем – пользования разными группами населения (пожилые люди, люди с ограниченными возможностями здоровья, дети), проблемы технического и организационно-проектного характера, связанные с нарастающей сложностью СОП в целом. Данный метод не имеет пока распространения на транспорте в РФ.

Реальности развития систем оплаты проезда зависят от множества факторов: территории, региона, географии, транспортной системы города и ее инфраструктуры, численности населения, наличия объектов культурного, исторического и природного значения, климата, достаточности финансовых ресурсов и других. Исторически сложилось, что развитие систем оплаты проезда связано с устойчивой традицией оплаты наличными деньгами и вкрапления других методов, появившихся в процессе эволюции техники, технологий, процессов оплаты проезда в общественном транспорте, которые мы рассмотрели выше. Кроме того, использование СОП предполагает наличие различных систем контроля оплаты проезда, позволяющих оценивать результаты и эффективность работы общественного транспорта. Так контроль может осуществляться непосредственно кондуктором или контроллером для традиционных методов оплаты проезда или с использованием дополнительной автоматизированной системы контроля проезда (АСКП) с использованием турникетов, компостеров, датчиков движения или тепловых, видеокамер и видеорегистраторов, и других устройств, позволяющих обрабатывать массивы big data. В практике организации работы общественного транспорта такие системы не применяются на основе только одного метода контроля и, как правило, в РФ

и отдельных ее субъектах проблема контроля решается на основе комбинации методов и современных технологических и информационных систем: АСОП с переносным терминалом кондуктора, приобретение разовых билетов у кондуктора или водителя, или в других вариациях. Комбинированный подход к формированию систем оплаты проезда, к сожалению, не устраняет недостатки, присущие традиционным методам оплаты проезда: актуальна проблема безбилетного проезда; сложно собирать и сопоставлять статистическую информацию, полученную от разных систем; затраты времени на сбор и обработку статистической информации, все еще велики, так как отсутствуют беспроводные каналы передачи данных; и др.

Несмотря на то, что различные инновационные системы уже тестируются в крупных городах РФ и пассажиры могут оплатить проезд с их использованием. Согласно Правилам пользования наземным пассажирским транспортом [4] войдя в салон транспортного средства пассажир обязан немедленно, без требований кондуктора, оплатить проезд и провоз багажа либо путем приобретения разового проездного билета, либо путем регистрации проездного билета в устройстве электронного контроля оплаты проезда (переносного или стационарного валидатора). Анализ традиционных и инновационных методов оплаты проезда позволил обобщить сведения о них, полученные из разных источников о преимуществах, недостатках и эволюционных приоритетах в развитии и внедрении в деятельность общественного пассажирского транспорта, как в РФ, так и за рубежом [5, 6, 7]. Они представлены в виде схемы в таблице 1.

Таблица 1 – Эволюция традиционных и инновационных СОП: преимущества и недостатки

(A)	Традиционные СОП				Инновационные СОП		
	Оплата наличными кондуктору/ водителю	Оплата наличными через автоматическую кассу	Оплата банковской картой	АСОП - электронный билет	АСОП - технологии Pay Pass / Pay Wave	Оплата проезда с помощью мобильного телефона	Оплата проезда по отпечатку пальца
Достоинства	Используется с 40-ых годов и по н.в	Используется с 50-ых годов и по н.в.	Используется с 2010 года	Используется с 2012 года	Используется с 2013 года	Используется с 2014 года	Не используется
	Простота						
	Надежность						
	Отсутствие технических сбоев						

## ТРАНСПОРТ

Окончание таблицы 1

Высокий уровень собираемости оплаты проезда							
Экономия на заработной плате кондукторов/ водителей							
Не нужны наличные деньги, сокращение затрат на печать билетов, карты многоразового пользования							
Пользование льготами							
Простота контроля списания денег, уведомления о списании							
Рост скорости платежей и собираемости платы							
Бонусные программы персонализированы, тариф дифференцирован							
Идентификация персональных данных с владельцем карты							
Автомониторинг пассажиропотока, сбора оплаты, планирование работы ОПТ							
Прозрачность оборота денег, билет "приобретается" один раз							
Разнообразие форм носителей - карты, брелоки, часы, телефоны и др.							
Простота блокировки и восстановления карты							
Удобство пользования в транспортном средстве							
Сокращение времени и простота пополнения счета, оплаты проезда							
Снижение риска мошенничеств							
<b>(Б) Традиционные СОП</b>			<b>Инновационные СОП</b>				
Недостатки	Оплата наличными кондуктору/ водителю	Оплата наличными через автоматическую кассу	Оплата банковской картой	АСОП - электронный билет	АСОП - технологии Pay Pass / Pay Wave	Оплата проезда с помощью мобильного телефона	Оплата проезда по отпечатку пальца
	Печать бумажных билетов		Дополнительный контроль пассажиром объема списанных средств				
	Дополнительный контроль оплаты проезда						
	Наличные мелкие деньги						
	Неудобство оплаты в часы пик						
		Формирование очередей					
		Технические сбои	Сложность и катастрофичность сбоев и проблем нарастает				
Рост затрат на дополнительное оборудование и системы ПО							
	Низкая скорость оплаты	Временные ограничения на оплату проезда группы лиц					
Сложность использования для пожилых людей и детей							
Высокие требования к системе безопасности							
Сложность восстановления карт при утере, высокие требования к защите карты, поддерживают не все банки							
				Не предусматривает скидок			
Расширенный доступ к персональным данным							
Дополнительная оплата обслуживания носителя или оборудования							
				Покупка специального чипа			
Нет массовой апробации							

Подробный анализ эволюция преимуществ и недостатков (табл.1) позволил сделать несколько важных выводов [8]:

1. Недостатки, присущие традиционным методам оплаты проезда постепенно заменяются недостатками инновационных методов, и для определения технологической и экономической целесообразности использования того или иного метода, требуются дополнительные исследования мнений пассажиров, сбор экономической и технологической информации о рисках и затратах на поддержание СОП на основе использования конкретного метод.

2. И достоинства, и недостатки исследуемых методов явно эволюционируют под давлением научно-технического прогресса и внедрения инновационных технологий, что определяет объективность изменений в технологическом укладе развития транспорта.

3. Неизбежно возникновение множества эффектов от внедрения новых методов и технологий оплаты проезда, которые меняют структуру синергетического эффекта от внедрения инновационных методов оплаты, как платформы для формирования «умного транспорта» в городах.

4. Формирование систем оплаты проезда на общественном пассажирском транспорте возможно только на основе использования комбинации традиционных и инновационных методов с объективной тенденцией эволюционной замены первых вторыми.

### **Выводы**

В дальнейших исследованиях необходимо установить отношение потребителей транспортных услуг к масштабному внедрению инновационных систем оплаты проезда, в частности АСОП, на основе технологий PayPass и PayWave, которые уже используются на отдельных маршрутах наземного транспорта и в метрополитене Санкт-Петербурга. Несмотря на положительные тенденции увеличения числа пользователей инновационных систем, существует ряд вопросов, которые необходимо решить: выявить и оценить категории граждан, готовых к использованию PayPass и PayWave; выявить факторы неготовности прочих категорий пассажиров к использованию новшеств в оплате проезда, определить и устранить причины такой неготовности, обеспечив положительный социальный и экономический эффект от

использования; выявить условия готовности пользователей общественного транспорта Санкт-Петербурга полностью отказаться от использования традиционных СОП и перейти на инновационные бесконтактные СОП, что приведет к существенному сокращению затрат, позволит автоматизировать процессы управления транспортом и увеличит объем собираемости платы за проезд, создаст преимущества в использовании общественного транспорта всем категориям пассажиров.

**Работа выполнена в рамках  
поддержанного РГНФ научного проекта  
№16-32-00008.**

### **Библиографический список**

1. Отчет о социологическом исследовании транспортного поведения населения РФ, Институт экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ, 2015 г.

2. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. Данные комитета по транспорту. [Электронный ресурс]. – URL: [http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/transportation/](http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/transportation/) (дата обращения к ресурсу: 20.07.2016).

3. Официальный сайт СПб ГКУ «Организатор перевозок» [Электронный ресурс]. – URL: <http://orgp.spb.ru/> (дата обращения к ресурсу: 20.07.2016).

4. Об утверждении Правил пользования наземным пассажирским транспортом : приказ Комитета по транспорту от 18.12.1997 № 332 (в ред. от 11.03.2015 г.)

5. Лебедева, А.С. Приоритеты инновационной деятельности на автомобильном транспорте / А.С. Лебедева, Л.И.Рогавичене // Инновационное развитие: ключевые проблемы и решения : сборник статей Международной научно-практической конференции ; ответственный редактор Сукиасян Асатур Альбертович. –2015. С. 80–84.

6. Rogavichene, L.I. Potential use of information and communication technologies as considered while studying social dimension of the transport crisis / L.I. Rogavichene, A.E. Emirova, A.S. Lebedeva // Экономика и предпринимательство. – 2016. – №5(70). – С. 934–940.

7. Курышева, В.В. Инновации на транспорте и перспективные автомобильные технологии / В.В. Курышева, Н.А. Храмцова // Фундаментальные и прикладные науки - основа современной инновационной системы : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – 2015. – С. 319–324.

8. Будрина, Е.В. Развитие системы городского наземного пассажирского транспорта на основе инноваций / Е.В. Будрина // Инновации на транспорте и в машиностроении : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Том I. : под ред. В.В. Максарова : отв. ред. : Т.А. Менухова, А.В. Терентьев. – СПб. : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 28–32.

### RESEARCH INNOVATIVE SISTEM A PAYMENT DRIVE ON PUBLIC TRANSPORT

E.V. Budrina, A.S. Lebedeva

**Abstract.** The review and the comparative analysis of the systems of payment of journey (SPJ) on public transport is presented in article, advantages and shortcomings are defined, evolutionary features of change of priorities in use of SOP are revealed; the factors defining evolution of SOP in compliance with technological changes are allocated, the most perspective SOP are defined and recommended for introduction, the directions of deepening of research and receiving a solid data about effects from introduction of SOP are defined.

**Keywords:** journey payment; public transport; innovative systems of payment

#### References

1. Otchet j soziologicheskoy issledovaniy transportnogo povedeniya naseleniya RF, Institut ekonomiki transporta i transportnoy politiki NIU VCHE, 2015g.
2. Oficialnyi sait Administratsii Sankt-Peterburga/ Dannye Komiteta po transportu. [Elektronnye resurs] [http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/transportation/](http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/transportation/) [20.07.2016]
3. Oficialnyi sait SPb GKU «Organizator perevozok» [Elektronnye resurs] URL: [http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/transportation/](http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/transportation/) [20.07.2016].
4. Prikaz Komiteta po transport ot 18.12.1997 № 332 (v red. ot 11.03.2015g.) «Ob utverzhenii pravilpolzovaniya nazemnyum passagirskim transportom.
5. Lebedeva A.S., Rogavichene L.I. Prioritetnyy innovatsionnyy deyatelnosti yf avtomobilnom transporte // V sbornike Innovatsionnoye razvitiye klyuchevyye problemy b recheniya. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Otvetstvennyy redaktor Sukiasyan Asatur Albertovich. 2015. s.80-84.
6. Rogavichene L.I., Emirova A.E., Lebedeva A.S. Potential use of information and communication technologies as considered while studying social

УДК 621.432:542.97

### ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОРШНЯ НА ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЕ

В.Р. Ведрученко<sup>1</sup>, А.Л. Иванов<sup>2</sup>, В.А. Борисов<sup>3,4</sup>, П.В. Литвинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Россия, г. Омск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

<sup>3</sup>Омский государственный технический университет, (ОмГТУ), Россия г. Омск;

<sup>4</sup>Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения Российской академии наук, (ИППУ СО РАН), Россия, г. Омск

dimension of the transport crisis // *Economica i predprinimatelstvo*. 2016. №5 (70). p. 934-940.

7. Kuryucheva V.V., Hramzova N.A. Innovatsii na transporte i perspektivnyye avtomobilnyye tehnologii // V sbornike Fundamentalnyye i prikladnyye nauki – osnova sobremennoy innovatsionnoy systemy. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov b molodyuh uchenyuu. 2015. P. 319-324.

8. Budrina E.V. Razvitiye sistemy gorodskogo nazemnogo passagirskogo transporta na osnove innovatsiy // *Innovatsiy na transporte i v machinostroyeniye*: sbornik trudov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsiy. Tom I. / pod. red. V.V. Maksarova / otv. red. T.A. Menuhova, A.V. Terentev. – SPb.: Nazionalnyi mineralno-syirevoy universitet «Gornyy», 2016. – p .28-32.

*Будрина Елена Викторовна (Санкт-Петербург, Россия) – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой Управления транспортными системами ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет информационных технологий, точной механики и оптики» (197101, Санкт-Петербурге, Кронверкский пр-т, 49., e-mail: boudrina@mail.ru).*

*Лебедева Анна Сергеевна (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры Управления транспортными системами ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет информационных технологий, точной механики и оптики» (197101, Санкт-Петербурге, Кронверкский пр-т, 49., e-mail: hebo@rambler.ru).*

*Budrina Elena Victorovna (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Economics Sciences, professor, head of Department of Management transportation systems, University IFMO (197101, Kronverkskiy pr., 49 prospect, Saint-Petersburg, Russian Federation, e-mail: boudrina@mail.ru).*

*Lebedeva Anna Sergeevna (Saint-Petersburg, Russian Federation) – candidate of Economics Sciences, docent of Department of Management transportation systems, University IFMO (197101, Kronverkskiy pr., 49 prospect, Saint-Petersburg, Russian Federation, e-mail: hebo@rambler.ru).*

**Аннотация.** Проведён обзор существующих видов поршней двигателей внутреннего сгорания. Выполнен анализ влияния материалов поршня на температуру в цилиндре и процесс сгорания. Рассмотрены варианты применения различных видов поршней в двигателях внутреннего сгорания, соответствующих классам экологичности Евро. Приведены формулы, параметры которых будут изменены при использовании покрытий различного рода. Рассмотрены химические процессы сгорания топлива при использовании каталитических материалов. Сделаны выводы о возможных изменениях методик расчёта процесса сгорания.

**Ключевые слова:** поршень, материал, покрытие, процесс сгорания, катализатор.

### Введение

Поршни автомобильных и тракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются деталями, работающими в тяжёлых условиях: при знакопеременных нагрузках и высокой температуре. В целях уменьшения нагрузок возвратно-поступательно движущихся масс и для улучшения теплоотвода от стенок и днища поршни делают тонкостенными.

Условия работы цилиндропоршневой группы (ЦПГ) определяют необходимость точной обработки поверхностей деталей в сопряжениях и применения материалов высокого качества.

В связи с ужесточением экологических требований, материалам поршня уделяется особое внимание, поскольку они оказывают прямое воздействие на процесс сгорания топлива и, соответственно, на вредные выбросы. В настоящий момент содержание вредных выбросов в отработавших газах (ОГ) регламентируют следующие стандарты – Евро-4, Евро-5 и Евро-6. Стандарты Евро-5 и Евро-6 устанавливают норму выбросов не только для углеводородов, окислов азота, оксида углерода, но и углекислого газа. Введение новых стандартов ожидается в 2020 и 2025 годах. Вопрос о выбросах вредных веществ возникает уже на стадии проектирования двигателя. Поэтому материал поршня в настоящий момент выбирается с учётом влияния его температурного поля на сгорание топлива [1].

### Материалы поршней

Поршни из чугуна применяются главным образом в тракторных ДВС (сравнительно тихоходных, работающих на низкосортных топливах, в тяжёлых условиях эксплуатации). Наиболее применимыми являются чугуны марок СЧ24, СЧ28, СЧ35. Фосфор вводят для увеличения жидкотекучести, одновременно повышая износостойкость и склонность чугуна к росту. Для улучшения свойств проводят легирование чугунов, например,

вводят хром для увеличения твёрдости и износостойкости, а никель – для измельчения структуры и уменьшения теплового расширения.

Главными достоинствами чугунных поршней являются: прочность, износостойкость, малый коэффициент линейного расширения.

Поршни из алюминиевых сплавов используются во всех современных автомобильных двигателях и в четырёхтактных быстроходных тракторных дизелях.

Главными достоинствами алюминиевых поршней являются: лучшая теплопроводность (и как следствие большая степень сжатия и мощность); меньшая масса поршня; лучшая обрабатываемость; возможность получения более точной отливки.

Недостатками алюминиевых поршней являются: высокая стоимость; малая механическая прочность; малая жаростойкость; малая износостойкость; большой коэффициент линейного расширения.

Однако после механической и термической обработки возможно повысить предел прочности до 260-320 МПа.

Идеальным условием, к которому нужно стремиться во избежание деформаций поршня, если они распространяются на пояс поршневых колец и оказывающих очень большое влияние на работу, является равномерное распределение температуры по всему днищу. Температура днища поршня всегда должна быть ниже 400 °С, поскольку прочность сплавов алюминия значительно уменьшается при превышении этой температуры. Многие считают, что максимальная температура днища не должна превышать 375 °С при перегрузке ДВС и 350 °С при продолжительной работе. При этом распределение температуры в днище поршня зависит от расположения клапанов. Температура в месте непосредственно под выпускным клапаном часто бывает на 10-15 °С выше температуры остальных частей днища [2].

Биметаллические и комбинированные поршни в настоящий момент применяют как варианты механического сцепления между металлами и для облегчения самого поршня и повышения его долговечности соответственно [3].

### **Поршни с корундовым покрытием**

Поршни с корундовым покрытием применяют для снижения расхода топлива. Поршень проходит гальвано-плазменную обработку днища поршня и кольцевого пояса, на наружной поверхности которых образован корундовый слой, толщиной до 0,2 мм. Такой тип обработки основан на преобразовании поверхностного слоя детали из алюминиевого сплава в корунд с высокой адгезией к основному металлу. Таким образом решается проблема предотвращения отслаивания теплоизолирующих покрытий. Поршни с корундовым слоем имеют более низкую температуру с внутренней стороны на 12 - 15 °С. Над верхним компрессионным кольцом температуры равны или ниже на 15 - 32 °С, в перемычке между 1-м и 2-м кольцом равны или ниже на 7 - 21 °С, в кольцевой канавке второго компрессионного кольца равны или ниже на 1 - 8 °С. Теплозащитный корундовый слой на поршне двигателя, уменьшая теплоотвод через поршень, позволяет лучше использовать тепло для организации процесса сгорания и повышения экономических показателей двигателя. Умеренное повышение температуры поверхностного корундового слоя толщиной 0,15 - 0,2 мм позволило снизить расход топлива от 1,7% до 10% во всем диапазоне нагрузок двигателя [4].

### **Поршни с керамическим покрытием**

Поршни с керамическим покрытием также устанавливаются в ДВС. Керамика обладает изолирующими свойствами, а именно способностью поглощать тепло в слоях около поверхности поршня. Данный слой является эффективным изолятором и удерживает тепло от проникновения в материал. Зачастую керамическое покрытие наносится на днище поршня, и камеру сгорания (КС). Также, как и в случае с корундовым покрытием, керамическое может наноситься и в область расположения поршневых колец.

Главными достоинствами керамического покрытия является: устойчивость к высоким температурам, высокая химическая устойчивость, высокая твердость, низкая плотность, устойчивость к износу, низкий коэффициент теплопроводности, высокий предел прочности на сжатие.

Предпочтительным соединением в данном случае выступает диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), обладающий низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом теплового расширения. Во избежание негативных эффектов от фазовых превращений при высоких температурах  $ZrO_2$  стабилизируют при помощи специальных материалов, в качестве которых используют оксиды магния ( $MgO$ ), кальция ( $CaO$ ), церия ( $CeO_2$ ) и иттрия ( $Y_2O_3$ ) [5].

### **Поршни с каталитическим покрытием**

Одним из способов уменьшения вредных выбросов с ОГ является использование каталитических материалов, в частности каталитических нейтрализаторов. Каталитические нейтрализаторы должны нагреться до определённой температуры, чтобы достигнуть высокой эффективности преобразования. Это делает их неэффективными для снижения вредных выбросов в период после холодного запуска ДВС. В частности, несгоревшие углеводороды в течение периода прогрева могут составлять до 80% всех углеводородных выбросов. Каталитические нейтрализаторы с электрическим подогревом ненадёжны и недолговечны.

В данной ситуации возможно применение внутрицилиндровых катализаторов, а именно – каталитического покрытия поршня и КС. Углеводородные выбросы двигателей с искровым зажиганием возникают из-за того, что часть топлива не окисляется, пламя затухает в «мёртвой зоне» поршня, на стенках КС, а пары топлива абсорбируются и десорбируются в слоях масла на стенках цилиндра. Трещины в стенках КС являются главными источниками несгоревших углеводородов, поскольку имеют небольшой объём и узкий вход. Большинство таких трещин расположены в выемках для уплотнительных колец поршня. Большинство источников несгораемых углеводородов близки к стенкам КС. Следовательно, несгоревшие углеводороды можно снизить в источниках их образования путём нанесения каталитического покрытия на поверхность поршня [6].

Одно из первых испытаний поршней с каталитическим покрытием было проведено в конце XX века на бензиновом двигателе с дискообразной КС [6]. Поршень был модифицирован путём создания съёмного днища. Для проведения эксперимента использовалось платиново-родиевое покрытие. При проведении испытания использовались три вида двигателей: модель

с поршнем, в котором были покрыты верхняя и боковая стороны днища; модель с поршнем, в котором была покрыта боковая сторона; и модель с поршнем без покрытия. При работе на неэтилированном бензине с октановым числом 95 и степенью сжатия, равной 9 были получены следующие результаты: платиново-родиевое напыление на днище поршня оказывает незначительный эффект на крутящий момент двигателя, но это приводит к постепенному снижению несгоревших выбросов углеводородов и небольшому увеличению выбросов NO<sub>x</sub>. Таким образом было подтверждено, что снижение углеводородных выбросов обусловлено каталитическим окислением несгоревшей смеси в источниках рядом со стенками, и исследование связанного с ним влияния на характеристики горения и двигателя. Следует отметить, что в исследовании 1997 года исследовалось также влияние угла опережения зажигания на углеводородные выбросы и, поскольку каталитическое покрытие не оказывало воздействия на угол опережения зажигания, то для исследования влияния каталитического покрытия на вредные выбросы угол опережения зажигания не изменялся, что следует учитывать в будущих исследованиях и экспериментах.

Платиново-родиевое покрытие предлагается использовать не только в бензиновых двигателях, но и в двигателях с воспламенением гомогенной смеси от сжатия (HCCI-двигатель), которые на сегодняшний день считаются перспективными. Испытания показали, что использование платиново-родиевого катализатора в HCCI-двигателях уменьшает выбросы углеводородов на 15-20%. Кроме того происходит снижение выбросов CO на 7-13% в зависимости от площади покрытия [7, 8, 9].

При нанесении каталитических покрытий на чугунные поршни следует учитывать влияние температурных напряжений. В классическом виде данная формула выглядит следующим образом [10]:

$$\sigma_T = \frac{\alpha E q \delta}{200 \lambda_T}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $q$  – удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – толщина днища, м;  $\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(мК).

Для четырёхтактного ДВС:

$$q = 11,63 \cdot (6000 + 26 \cdot n) \cdot P_i; \quad (2)$$

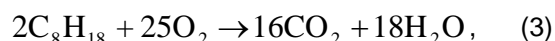
где  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $P_i$  – среднее давление, МПа.

Однако, при использовании различных покрытий (каталитических, корундовых, керамических) формулы (1), (2) должны быть скорректированы, поскольку изменяется модуль упругости  $E$ , удельная тепловая нагрузка, толщина днища и, как следствие, коэффициент теплопроводности.

Процесс нанесения каталитических, корундовых и керамических покрытий на плоское днище гораздо проще в технологическом плане, поскольку может использоваться микродуговое окисление, что подразумевает использование раствора электролитов.

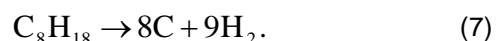
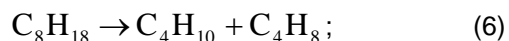
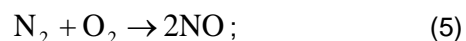
#### Влияние материала поршня на процесс сгорания топлива

Рассматривая процесс сгорания топлива на примере уравнения реакции окисления изооктана видим:



что основными продуктами реакции являются CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

В реальных условиях в КС протекают следующие побочные химические реакции:



Реакции неполного сгорания (4), крекинга углеводородов (6) и сажеобразования (7) характерны для богатой топливновоздушной смеси и при неравномерности топливновоздушной смеси. Реакции сажеобразования (7) также способствует холодные поверхности цилиндра-поршневой группы (ЦПГ) в момент запуска ДВС. Реакция образования оксидов азота характерна для бедной топливновоздушной смеси, при неравномерности топливновоздушной смеси и при высоких нагрузках. Необходимо заметить, что скорость всех приведённых реакций возрастает с увеличением температуры в КС.

Нормальное горение топлива может происходить только при температурах выше 500 °С [11]. Кроме того, при нормальном сгорании, когда пламя охватывает всю поверх-



ность КС, наибольшая температура газов в цилиндре достигает 2000 - 2200 °С в бензиновых ДВС и около 700 °С в дизельных. При использовании каталитических покрытий температура возрастает [12]. Путем подбора внутрицилиндровых катализаторов можно добиться снижения температуры целевой реакции (3). Таким образом, можно добиться серьезного сокращения выбросов ОГ.

Необходимо так же учитывать, что скорости химических реакций зависят от концентрации реагентов в единице объема, а, следовательно, от давления и температуры газовой смеси (8) [13]:

$$\omega_p = \frac{dC}{d\tau} = Ap^n e^{-E/RT}; \quad (8)$$

где  $\frac{dC}{d\tau}$  – скорость изменения во времени относительной концентрации любого из исходных веществ или образующихся продуктов реакции;  $A$  – постоянный множитель, зависящий от свойств топлива и состава горючей смеси;  $p$  – давление, МПа;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура, К.

Экспоненциальный множитель в формуле (8) выражает долю молекул, обладающих энергией теплового движения, превышающей некоторую величину энергии активации  $E$ , необходимую для преодоления энергетического барьера элементарного акта реакции, т.е. разрыва существующих внутримолекулярных связей и замены их новыми. В случае применения каталитических материалов, а также топлива, соответствующего классам Евро, скорость изменения во времени относительной концентрации любого из исходных веществ

или образующихся продуктов реакции  $\frac{dC}{d\tau}$  и

температура  $T$  изменятся, и это необходимо будет учитывать при дальнейших исследованиях [13].

Кроме каталитического действия важны ещё и термобарьерные свойства поверхностей КС, чего можно добиться путём нанесения покрытий с низкими коэффициентами теплопроводности. Покрытия на основе  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  обладают отличными термобарьерными свойствами и формируются из материала поршня в результате микродугового оксидирования (МДО). Из важных преимуществ данного способа получения покрытий можно

выделить простоту оборудования для реализации МДО, низкой стоимости реагентов, из которых готовят электролиты для МДО, и возможность активации покрытия на основе  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  активными компонентами (Pt, Pd, Cu, Ce).

Термобарьерные свойства покрытий могут сочетаться и с повышением износоустойчивости деталей ЦПГ [14]. Такие покрытия могут защитить от высокотемпературной газовой эрозии и снизить температуру поршня примерно в полтора раза.

Влияние термобарьерного МДО-слоя, нанесённого на поршни, на эксплуатационные показатели двигателя достаточно хорошо изучено в работах [3,15,16,17,18,19]. В работе [16] на основании теоретических исследований сделан вывод о том, что существует рациональная толщина МДО-слоя для тепловой изоляции днища поршня (для дизеля 120 - 160 мкм), позволяющая уменьшить удельный тепловой поток через поршень на 15 %, тем самым увеличивая тепловой КПД двигателя.

Проведение экспериментов на специальной установке показало, что оксидированные слои, толщиной 25-30 мкм, образованные на днище и канавках поршня, снижают температуру с внутренней стороны поршня на 24%. При этом, согласно расчётным данным, слой в 8 мкм способен снизить температуру поршня на 25%.

Таким образом, можно утверждать, что роль термобарьерного покрытия заключается в снижении тепловых потерь в КС, улучшению режима и стабильности сгорания топлива. Однако, в данном случае не удаётся избежать побочных реакций, описанных в формулах (4-7).

В литературных источниках имеются данные о том, что выбросы несгоревшего топлива были снижены на 20% путем осаждения катализатора на Pt-покрытия на верхних и боковых поверхностях поршня [6]. Как известно, для изготовления цилиндров и поршней для ДВС используются алюминиевые сплавы, в частности, силумин [20,21]. Для приготовления каталитических покрытий на деталях из этого материала в литературе приводятся различные методы, например газодинамическое плазменное напыление, плазменно-электролитное оксидирование [22]. Таким образом, можно утверждать, что роль каталитического покрытия заключается в снижении температуры и стабильности сгорания

топлива. В данном случае происходит подавление вредных реакций (4-7). Стоит отметить, что применение термобарьерного покрытия с каталитическими свойствами наилучшим образом повлияет на экологичность и экономичность ДВС.

### **Заключение**

Одним из наиболее перспективных путей повышения экологической безопасности двигателей внутреннего сгорания является использование каталитических покрытий в камере сгорания двигателя.

Целесообразно проведение дальнейших исследований бензиновых и дизельных двигателей с каталитическим покрытием камеры сгорания и поверхности поршня, в том числе путём снятия, построения и расчёта индикаторных диаграмм.

### **Библиографический список**

1. Ведрученко, В.Р. Анализ требований к нормативам выбросов вредных веществ / В. Р. Ведрученко, П.В. Литвинов // Архитектура, строительство, транспорт : материалы Международной научно-практической конференции. – Омск : СибАДИ, 2015. – С. 970–976.
2. Coker, A.J. Automobile Engineer's Reference Book. 3<sup>rd</sup> edition. Publication year : 1959.
3. Двоглазов, Г.А. Материаловедение : учебник / Г.А. Двоглазов. – Ростов н/Д : Феникс, 2015. – 445 с.
4. Шпаковский, В.В. Анализ эффективности применения поршней с корундовым слоем для снижения расхода топлива / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 10(57). – С. 140–144.
5. Ciniviz M., Sahir Salman M., Canlı E., Kose H., Solmaz O. (2012). Ceramic Coating Applications and Research Fields for Internal Combustion Engines, Ceramic Coatings - Applications in Engineering, Prof. Feng Shi (Ed.), ISBN: 978-953-51-0083-6, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/ceramic-coatings-applications-in-engineering/ceramic-coating-applications-and-research-fields-for-internal-combustion-engines> (дата обращения : 03.10.2016).
6. Hu, Z, Ladommatos, N., In-Cylinder Catalysts - A Novel Approach to Reduce Hydrocarbon Emissions from Spark-Ignition Engines // SAE Technical Paper 952419, 1995, doi:10.4271/952419.
7. Zeng W., Xie M. A novel approach to reduce hydrocarbon emissions from the HCCI engine // Chemical engineering journal, Volume 139, Issue 2, p.380-389, 2008.
8. Константинов, Е.А. А у нас в машине газ... / Е.А. Константинов // Наука и жизнь. – 2014. – № 4. – С. 106–113.
9. Dec, J.E. Advanced compression-ignition engines – understanding the in-cylinder processes. Proceeds of the combustion institute, 2009 – Elsevier.
10. Холмянский, И.А. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : конспект

лекций / И.А. Холмянский. – Омск : СибАДИ, 2010. – 153 с.

11. Брозе, Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях / Д. Д. Брозе. – М. : Машиностроение, 1969. – 247 с.
12. Ленин, И.М. Теория автомобильных двигателей / И. М. Ленин. – М. : Машгиз, 1958. – 271 с.
13. Болтинский, В.Н. Тракторные и автомобильные двигатели / В.Н. Болтинский. – М. : Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1953. – 592 с.
14. Дударева, Н.Ю. Микродуговое окисление как средство повышения надежности двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / Н.Ю. Дударева, Д.А. Рябова. – Режим доступа : [http://www.dvs.ugatu.ac.ru/images/stories/MDO\\_statya.doc](http://www.dvs.ugatu.ac.ru/images/stories/MDO_statya.doc). (дата обращения к ресурсу: 28.08.2016).
15. Марченко, А. П. Влияние корундового слоя на рабочих поверхностях поршней на процесс сгорания в ДВС / А.П. Марченко, В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – С. 24–28.
16. Шпаковский, В.В. Влияние частично-динамической теплоизоляции на температурное состояние поверхности поршня / В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2. – С. 92–95.
17. Марьин, Д.М. Влияние окисленного слоя на теплонпряженность поршня двигателя внутреннего сгорания / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, А.А. Шлуценко, Д.А. Уханов // Scienceandworld. – 2014. – № 1(5). – С. 108–109.
18. Шпаковский, В. В. Влияние корундовой поверхности поршней дизеля тепловоза ЧМЭ-3 на эксплуатационные характеристики цилиндропоршневой группы / В. В. Шпаковский, В. В. Осейчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 2. – С. 101–105.
19. Степанов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей микродуговым окислением днищ поршней двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Степанов В.А. ; науч. рук. А.Л. Хохлов . Пенза. – 2014. – 21 с.
20. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учебное пособие / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2008. – 496 с.
21. Чайнов, Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" направления подготовки "Энергомашинное строительство". / Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков ; под ред. Чайнова Н.Д. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 2011. – 496 с.
22. Parlak, A., Yaşar, H. & Şahin, B. (2003), Performance And Exhaust Emission Characteristics Of A Lower Compression Ratio LHR Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 44, pp.163-175.

### **THE INFLUENCE OF PISTON MATERIALS ON COMBUSTION PROCESS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

V.R. Vedruchenko, A.L. Ivanov,  
V.A. Borisov, P.V. Litvinov

**Abstract.** In this article we are produce an overview of currently existing types of piston internal combustion engines. The analysis of the impact of the piston on the material temperature in the cylinder and the combustion process. The variants of the use of different types of pistons in internal combustion engines, the relevant environmental class Euro. The formulas whose parameters are modified using various types of coatings. The chemical combustion processes using catalytic materials. Conclusions about the possible changes in the methods of calculation of the combustion process.

**Keywords:** piston, material, catalytic coating, combustion process, catalysis.

### References

1. Vedruchenko, V.R. Analiz trebovanij k normativam vybrosov vrednyh veshhestv / V.R. Vedruchenko, P.V. Litvinov / Arhitektura, stroitel'stvo, transport [Jelektronnyj resurs] : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Omsk : SibADI, 2015. - S. 960-966. (data obrashhenija : 07.05.2016).
  2. Coker A.J. Automobile Engineer's Reference Book. 3rd edition. Publication year :1959.
  3. Dvoeglazov, G.A. Materialovedenie : uchebnik / G. A. Dvoeglazov. - Rostov n/D : Feniks, 2015. – 445 s.
  4. Shpakovskij, V.V. Analiz jeffektivnosti primenenija porshnej s korundovym sloem dlja snizhenija rashoda topliva / V.V. Shpakovskij, O. Ju. Lin'kov // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. - 2008. - № 10(57). - S. 140-144.
  5. Ciniziz M., Sahir Salman M., Canli E., Kose H., Solmaz O. (2012). Ceramic Coating Applications and Research Fields for Internal Combustion Engines, Ceramic Coatings - Applications in Engineering, Prof. Feng Shi (Ed.), ISBN: 978-953-51-0083-6, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/ceramic-coatings-applications-in-engineering/ceramic-coating-applications-and-research-fields-for-internal-combustion-engines> ((data obrashhenija : 07.05.2016).
  6. Hu, Z, Ladommatos, N., In-Cylinder Catalysts - A Novel Approach to Reduce Hydrocarbon Emissions from Spark-Ignition Engines // SAE Technical Paper 952419, 1995, doi:10.4271/952419.
  7. Zeng W., Xie M. A novel approach to reduce hydrocarbon emissions from the HCCI engine // Chemical engineering journal, Volume 139, Issue 2, p.380-389, 2008.
  8. Konstantinov, E.A. A u nas v mashine gaz... / E. A. Konstantinov // Nauka i zhizn'. - 2014. - № 4. - S. 106-113.
  9. Dec J.E. Advanced compression-ignition engines – understanding the in-cylinder processes. Proceeds of the combustion institute, 2009 – Elsevier.
  10. Holmjanskij, I.A. Konstruirovanie dvigatelej vnutrennego sgoranija : konspekt lekciij / I.A. Holmjanskij. – Omsk : SibADI, 2010. – 153 s.
  11. Broze, D.D. Sgoranie v porshnevnyh dvigateljah / D. D. Broze. - M. : Mashinostroenie, 1969. – 247 s.
  12. Lenin, I.M. Teorija avtomobil'nyh dvigatelej / I. M. Lenin. - M. : Mashgiz, 1958. – 271 s.
  13. Boltinskij, V.N. Traktornye i avtomobil'nye dvigateli / V.N. Boltinskij. - M. : Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skohozjajstvennoj literatury, 1953. – 592 s.
  14. Dudareva, N.Ju. Mikrodogovoe oksidirovanie kak sredstvo povyshenija nadjozhnosti dvigatelej vnutrennego sgoranija [Jelektronnyj resurs] / N. Ju. Dudareva, D. A. Rjabova. – Rezhim dostupa : [http://www.dvs.ugatu.ac.ru/images/stories/MDO\\_staty\\_a.doc](http://www.dvs.ugatu.ac.ru/images/stories/MDO_staty_a.doc). – (data obrashhenija : 03.10.2016).
  15. Marchenko, A. P. Vlijanie korundovogo sloja na rabochih poverhnostjah porshnej na process sgoranija v DVS / A. P. Marchenko, V.V. Shpakovskij // Dvigateli vnutrennego sgoranija. - 2011. - № 2. - S. 24-28.
  16. Shpakovskij, V. V. Vlijanie chastichno-dinamicheskoy teploizoljicii na temperaturnoe sostojanie poverhnosti porshnja / V. V. Shpakovskij // Dvigateli vnutrennego sgoranija. - 2010. - № 2. - S. 92-95.
  17. Mar'in, D.M. Vlijanie oksidirovannogo sloja na teplonaprjazhennost' porshnja dvigatelja vnutrennego sgoranija / D. M. Mar'in, A. L. Hohlov, A.A. Shlushhenko, D.A. Uhanov // Scienceandworld. - 2014. - № 1(5). - S. 108-109.
  18. Shpakovskij, V.V. Vlijanie korundovoj poverhnosti porshnej dizelja teplovoza ChMJe-Z na jekspluatacionnye harakteristiki cilindroporshnevoj grupy / V.V. Shpakovskij, V. V. Osejchuk // Dvigateli vnutrennego sgoranija. - 2007. - № 2. - S. 101–105.
  19. Stepanov, V.A. Uluchshenie jekspluatacionnyh pokazatelej avtomobilej mikrodogovym oksidirovaniem dnishh porshnej dvigatelej : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.20.03 / V. A. Stepanov ; nauch. ruk. A. L. Hohlov ; Penza. - 2014. - 21 s.
  20. Kolchin, A.I. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej : uchebnoe posobie / A.I. Kolchin, V.P. Demidov. - 4-e izd., ster. - M.: Vysshaja shkola, 2008. - 496 s.
  21. Chajnov, N.D. Konstruirovanie dvigatelej vnutrennego sgoranija: Uchebnik dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obuchajushhhsja po special'nosti "Dvigateli vnutrennego sgoranija" napravlenija podgotovki "Jenergomashinostroenie". / Ivashhenko N.A., Krasnokutskij A.N., Mjagkov L.L.; pod red. Chajnova N.D. - 2-e izd. : M. : Mashinostroenie, 2011. – 496 s.
  22. Parlak, A., Yaşar, H. & Şahin, B. (2003), Performance And Exhaust Emission Characteristics Of A Lower Compression Ratio LHR Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 44, 163-175.
- Ведрученко Виктор Родионович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Теплоэнергетика ФГБОУ ВО ОмГУПС (644046, г.Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: vedruchenko@mail.ru).*

*Иванов Александр Леонидович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование» ФГБОУ ВО СибАДИ (644040, г.Омск, пр.Мира, 5, e-mail: alsib07@yandex.ru).*

*Борисов Вадим Андреевич (Омск, Россия) – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры Химическая технология и биотехнология ФГБОУ ВО ОмГТУ (644046, г.Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: borisovtiger86@mail.ru), научный сотрудник ФГБУН ИППУ СО РАН (Омск, ул. Нефтезаводская, дом 54).*

*Литвинов Павел Васильевич (Омск, Россия) – аспирант очной формы обучения кафедры Теплоэнергетика ФГБОУ ВО ОмГУПС (644046, г.Омск, пр.Маркса, 35, e-mail: p\_vasilich55@mail.ru).*

*Vedruchenko Victor Rodionovich (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Heat Energy, The Omsk State Transport University (644046, Marks avenue, 35, Omsk, e-mail: vedruchenko@mail.ru).*

*Ivanov Alexander Leonidovich (Omsk, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat Engines and Automotive Electrical Equipment, The Siberian State Automobile and Highway Academy (644040, Mira avenue, 5, Omsk, e-mail: alsib07@yandex.ru).*

*Borisov Vadim Andreevich (Omsk, Russian Federation) – Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemical Technology of Organic Substances of the Petrochemical Institute the Omsk State Technical University (644050, Mira avenue, 11 Omsk); Researcher of the Institute of Hydrocarbons Processing, SB RAS (644040, Neftezavodskaya street, 54, Omsk, e-mail: borisovtiger86@mail.ru).*

*Litvinov Pavel Vasil'evich (Omsk, Russian Federation) – post graduate student of the Heat Energy Department of the Omsk State Transport University (644046, Marks avenue, 35, Omsk, e-mail: p\_vasilich55@mail.ru).*

УДК 656.05

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА И УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТА ПРИ ПРОЕЗДЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА В ИНТЕРВАЛЕ СМЕНЫ РАЗРЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА СВЕТОФОРА НА ЗАПРЕЩАЮЩИЙ

В.А. Городокин, З.В. Альметова, Е.В. Шепелева  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

**Аннотация.** В статье показана необходимость установления значений величины замедления транспортного средства, с использованием которого водители должны осуществлять снижение скорости в темпе «не прибегая к экстренному торможению». Дано определение термина «экстренное торможение», отсутствующее в нормативно-правовых актах Российской Федерации, и установлена величина замедления транспортных средств при применении водителем торможения в темпе «не прибегая к экстренному». Приводится пример расчета технической возможности произвести остановку в месте, регламентированном Правилами дорожного движения, в момент включения желтого сигнала светофора при применении экстренного торможения и торможения в темпе «не прибегая к экстренному».

**Ключевые слова:** регулируемый перекресток, безопасность дорожного движения, величина замедления транспортного средства.

#### Введение

Не вызывает сомнения необходимость установления приоритетности в движении того или иного участника дорожного движения при совершении дорожно-транспортных происшествий [1]. Тем не

менее, до настоящего времени действующая редакция Правил дорожного движения РФ не позволяет в категорической форме решить вопрос о том, кто из водителей пользовался преимущественным правом при движении через регулируемый перекресток после

смены разрешающего сигнала светофора на запрещающий [2].

Алгоритм проезда регулируемого перекрестка в интервале смены разрешающего сигнала светофора на запрещающий. Приоритет в движении через регулируемый перекресток устанавливается требованиями п.6.14 Правил дорожного движения РФ. В нынешней редакции Правил дорожного движения данный пункт сформулирован следующим образом: «Водителям, которые при включении желтого сигнала или поднятии регулировщиком руки вверх не могут остановиться, не прибегая к экстренному торможению в местах, определяемых пунктом 6.13 Правил, разрешается дальнейшее движение». Формулировка п.6.14 действующих Правил дорожного движения РФ не только затрудняет решение поставленного выше вопроса, но и во многих случаях исключает ответ на него [3]. При этом, дорожно-транспортные происшествия, совершенные на регулируемых перекрестках, настоятельно требуют решения задачи по установлению приоритета между участниками ДТП к моменту достижения ими места столкновения, так как это может привести к наказанию невинного водителя [4].

Анализируя формулировку требований п.6.14 Правил, следует указать на ключевой термин «не прибегая к экстренному торможению», которому в Правилах дорожного движения Российской Федерации разъяснения не дано. Более того, в Правилах отсутствует и разъяснение понятия «экстренное торможение».

Правила дорожного движения Российской Федерации, являются интерпретацией русскоязычного варианта текста Конвенции о Дорожных Знаках и Сигналах 1968 года [5]. В ратифицированном варианте перевода Конвенции указанное выше требование сформулировано в Главе III статьи 23 следующим образом: «iii) желтый огонь, который включается один или одновременно с красным огнем; когда он применяется один, это означает, что ни одно транспортное средство не должно пересекать линию остановки или выезжать за светофор, за исключением случаев, когда в момент включения огня оно находится так близко, что уже не может остановиться перед линией остановки или перед светофором с учетом требований безопасности движения...». Полный текст изобилует массой неточностей и технических ошибок, как то: «...огонь», «линия остановки», «с учетом требований безопасности движения»,

«незамедлительная смена (сигнала авт.)» и т.п. Ключевой фразой в приведенном тексте является: «...за исключением случаев, когда в момент включения данного сигнала (имеется ввиду «желтого» сигнала. авт.) транспортное средство располагается от «стоп-линии» или стойки светофора на таком расстоянии, которое не позволит безопасно остановиться». Именно «безопасно остановиться» трансформировалось в тексте Правил Российской Федерации в «не прибегая к экстренному торможению». Во многих случаях применение экстренного торможения может привести как к потере контроля над управляемостью транспортным средством, так и к неожиданности данного действия для других участников движения. Отсутствие технически грамотных и аргументированных понятий «безопасно остановиться» и «не прибегая к экстренному торможению» вызвало, по мнению авторов, необходимость придать обоим понятиям техническое обоснование, которое будет допустимо использовать для решения вопросов, связанных с установлением приоритета участников движения, въезжающих на перекресток при смене сигналов светофора [6]. С технической точки зрения, проблема состоит в том, что экстренное торможение, производится при более высоком значении замедления, позволяющем водителю остановить транспортное средство на меньшем отрезке пути, не пересекая допустимую Правилами дорожного движения границу. Используя же замедление меньшей величины, водитель может не располагать технической возможностью остановиться в установленном Правилами месте, т.к. для остановки ему потребуется несколько больший отрезок пути [7]. Соответственно, въезжая на перекресток после смены сигнала светофора на запрещающий, водитель теряет приоритетное право по отношению к водителям транспортных, начинающих движение на разрешающий сигнал светофора, в случае, если он располагал технической возможностью остановиться в установленном Правилами месте. И наоборот, при невозможности остановиться на том же отрезке пути при применении торможения с меньшей эффективностью, в том числе в темпе «не прибегая к экстренному» (согласно требованиям Правил дорожного движения), водитель может продолжить движение через перекресток с получением приоритетного права по отношению к водителям конфликтующих направлений.

Таким образом, как было указано выше, смысл проблемы заключается в том, что при решении вопроса о соответствии действий водителя транспортного средства требованиям пункта 6.14 ч.1 Правил дорожного движения возникает сложность в определении наличия или отсутствия у водителя технической возможности остановить транспортное средство в месте, установленном требованиями п.6.13 Правил. Сложность же, в свою очередь, связана с неопределенностью приведенных выше понятий, и отсутствием единого подхода в применении при расчетах нормативного значения замедления, соответствующего понятию или «безопасно остановиться», или остановиться «не прибегая к экстремному торможению» [8].

В технической и экспертной практике используются такие термины, определяющие режим снижения скорости, как «экстремное» торможение и «служебное» (рабочее) торможение. Необходимость снижения скорости в темпе «не прибегая к экстремному торможению» не позволяет, с технической точки зрения, использовать ни первый, ни второй режим снижения скорости, т.к. одно из них может привести к торможению небезопасному, с точки зрения сохранения контроля над управляемостью транспортным средством, другое – к вероятному въезду на пересечение проезжих частей на запрещающий - красный сигнал светофора, и создания при этом, возможно, еще более опасной обстановки.

Причина, по которой установлен режим торможения «не прибегая к экстремному», вытекает из требования п.10.5 Правил дорожного движения, согласно которому «Водителю запрещается: ...резко тормозить, если это не требуется для предотвращения дорожно-транспортного происшествия». Режим «экстремного торможения», с технической точки зрения, является тем самым запрещенным для исследуемой дорожно-транспортной ситуации режимом «резкого» торможения. Иными словами, в случаях, когда дорожно-транспортная ситуация не является опасной (а момент переключения одного сигнала светофора на другой не является моментом возникновения опасности), применение экстремного торможения не только может представлять опасность, с технической точки зрения, но и прямо запрещено нормативно-правовым актом – Правилами дорожного движения.

Таким образом, целью разработанных методических рекомендаций, представленных в данной статье, является установление величины замедления, к которому должны прибегать водители транспортных средств, осуществляющие

снижение скорости в темпе «не прибегая к экстремному торможению». В дальнейшем полученная величина замедления должна быть использована, как технически обоснованная, при решении задачи, связанной с определением технической возможности остановить транспортное средство в установленном Правилами месте при включении желтого сигнала светофора.

В общем случае величина остановочного пути транспортного средства ( $S_o$ ) при применении водителем экстремного торможения на горизонтальном участке дороги определяется согласно утвержденным в экспертной практике методикам с использованием формулы [9]:

$$S_o = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_{ж}}, \quad (1)$$

где  $t_1$  – время реакции водителя транспортного средства, с;  $t_2$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода транспортного средства, с;  $t_3$  – время нарастания замедления транспортного средства, с;  $j_{ж}$  – замедление транспортного средства в данных дорожных условиях при применении водителем торможения в темпе «не прибегая к экстремному»,  $m/c^2$ ;  $V_a$  – скорость транспортного средства, км/ч.

При этом для определения остановочного пути используется нормативное значение замедления, которое при расчете остановочного пути принимается из таблиц, рекомендованных РФЦЭС при МЮ и ФКУ «ЭКЦ МВД России» [10]. Как было указано выше, расчет остановочного пути транспортного средства при смене сигнала светофора с разрешающего на запрещающий, должен производиться с учетом замедления транспортного средства, не превышающем замедления в темпе «не прибегая к экстремному» [11].

В рамках разработанной методики, проведены экспериментальные заезды, при которых установлена величина замедления, наиболее часто применяемая водителями при торможении в данной дорожно-транспортной ситуации, когда торможение с большей эффективностью, с одной стороны, может привести к потере контроля над транспортным средством, с другой – может быть воспринято другими водителями, следующими сзади, как экстремное. Экспериментальные заезды производились на отечественных и импортных легковых автомобилях, имеющих привод, как на передние колеса, так и на задние,

а также полноприводных автомобилях. Рассматривая полученные результаты эксперимента с точки зрения математической статистики, по методу интервальной оценки был определен 95%-ный доверительный интервал значения замедления, который составил  $4,341111 \pm 0,207 \text{ м/с}^2$ .

На основании статистической оценки полученных в ходе экспериментальных заездов данных, доверительный интервал, в который с вероятностью (надежностью) 95% попадает значение замедления транспортных средств при торможении на «желтый» сигнал светофора (в темпе «не прибегая к экстремному»), составляет около  $J_{ж} = 4,1 - 4,6 \text{ м/с}^2$ .

Учитывая определенную долю субъективного восприятия водителями транспортных средств торможения, темп которого должен соответствовать режиму «не прибегая к экстремному», для дальнейших расчетов, по нашему мнению, следует использовать наибольшее значение из полученного доверительного интервала. Иными словами, при торможении транспортного средства в режиме «не прибегая к экстремному» в условиях сухого асфальтового покрытия для легкового автомобиля, находящегося в снаряженном состоянии, замедление предлагается принимать равным  $4,6 \text{ м/с}^2$ .

Таким образом, при проведении экспертного исследования после вычисления величины остановочного пути ( $S_{ож}$ ) с использованием указанного значения замедления, необходимо сравнить его с расположением транспортного средства относительно места, предписанного для остановки требованиями п.6.13 Правил дорожного движения ( $S_{аж}$ ) в исследуемый момент времени. В случае если в момент включения желтого сигнала светофора дальность расположения транспортного средства относительно места, предписанного для остановки, будет меньше величины остановочного пути, рассчитанного с использованием указанной величины, тогда можно сделать категорический вывод о том, что водитель данного автомобиля имел право продолжить движение и закончить проезд перекрестка. При проезде перекрестка водитель данного транспортного средства будет пользоваться приоритетом по отношению к водителям транспортных средств, начинающим движение на разрешающий сигнал светофора.

Расчет остановочного пути для случая применения торможения в темпе «не прибегая к экстремному» должен определяться по формуле, аналогичной указанной для экстремного торможения, с подстановкой иных значений величины замедления транспортного средства и времени нарастания замедления (будут приведены ниже).

Примером важности расчета технической возможности остановиться в месте, регламентированном Правилами дорожного при включении желтого сигнала светофора, может быть гражданское дело № 2-.../2015 по иску гр. У к страховой компании и гр. А о взыскании ущерба, причиненного в результате дорожно-транспортного происшествия. Согласно факту дела, около строения №ХХ по Троицкому тракту в г. Челябинске водитель А., управляя автомобилем Skoda «Fabia», нарушив п.6.2 ПДД РФ, выехал на перекресток на запрещающий сигнал светофора и произвел столкновение с двумя транспортными средствами: автомобилем BMW «Х6» под управлением У. и автомобилем Hyundai «Solaris» под управлением П.. Как следует из предоставленных материалов, иск предъявлен водителем автомобиля BMW «Х6», совершавшим на регулируемом пересечении левый поворот на прилегающую территорию, по отношению к водителю автомобиля Skoda «Fabia», двигавшемуся во встречном направлении прямо. В общем случае для решения вопроса о наличии или отсутствии у водителя транспортного средства технической возможности выполнить возложенные на него обязанности (в данном случае выполнить требования п.6.14 Правил дорожного движения), необходимо, во-первых, установить место, пересечение которого запрещено действующими требованиями п.6.13 Правил при включении запрещающего сигнала светофора, во-вторых, сравнить дальность расположения транспортного средства относительно установленного выше места, с величиной остановочного пути при применении водителем торможения в темпе «не прибегая к экстремному».

Согласно требованиям п.6.13 Правил дорожного движения, «При запрещающем сигнале светофора (кроме реверсивного) или регулировщика водители должны остановиться перед стоп-линией (знаком 6.16), а при ее отсутствии:

- на перекрестке - перед пересекаемой проезжей частью (с учетом пункта 13.7 Правил), не создавая помех пешеходам;  
- перед железнодорожным переездом - в соответствии с пунктом 15.4 Правил;  
- в других местах - перед светофором или регулировщиком, не создавая помех транспортным средствам и пешеходам, движение которых разрешено».

Учитывая конфигурацию въезда на прилегающую территорию и способ организации движения, можно сделать вывод о том, что местом совершения дорожно-транспортного происшествия является въезд-выезд с прилегающей территории и, соответственно, данное место не может быть квалифицировано, как перекресток [12]. Следовательно, согласно классификации, указанной в п.6.13 Правил, данное пересечение проезжих частей должно быть отнесено к категории «другое место». В свою очередь, «в других местах» при запрещающем сигнале светофора водители должны остановиться перед светофором. С целью определения расположения автомобиля Skoda «Fabia» в момент включения для него запрещающего «желтого» сигнала светофора, в рамках экспертизы исследованию подвергалась запись видеорегистратора, установленного на автомобиле BMW X6. На кадре видеозаписи зафиксирован момент включения на светофоре желтого сигнала и, соответственно, положение автомобиля Skoda «Fabia». Сопоставляя положение данного транспортного средства с объектами дорожной инфраструктуры и последующим переносом положения автомобиля на масштабную схему, выполненную с помощью программы «CorelDRAW X4 Graphic», совмещенную со спутниковой фотографией места происшествия, доступной на Интернет-ресурсе «maps.yandex.ru», установлено, что в указанный момент времени автомобиль Skoda «Fabia» расположен относительно стойки светофора на расстоянии (Sаж) около 29 м.

Как указано выше, согласно требованиям п.6.14 Правил дорожного движения, «Водителям, которые при включении желтого сигнала не могут остановиться, не прибегая к экстренному торможению в местах, определяемых пунктом 6.13 Правил, разрешается дальнейшее движение». Техническая возможность остановиться в регламентированном Правилами дорожного движения месте определена путем сопоставления установленного выше

расстояния (Sаж), равного 29 м, с величиной остановочного пути транспортного средства (So и Soж). Остановочный путь автомобиля Skoda «Fabia» в сложившейся дорожно-транспортной ситуации при применении «экстренного» торможения находился в пределах 26 м, и около 32 м при применении торможения в темпе «не прибегая к экстренному».

Сравнивая между собой дальность расположения автомобиля Skoda «Fabia» относительно места обязательной остановки при включении на светофоре запрещающего «желтого» сигнала, составляющую 29 м, с величиной остановочного пути автомобиля Skoda «Fabia» в сложившейся дорожно-транспортной ситуации, находящейся при применении экстренного торможения в пределах 26 м, и около 32 м при применении торможения в темпе «не прибегая к экстренному», можно сделать вывод о том, что в момент включения желтого сигнала светофора водитель автомобиля Skoda «Fabia» не располагал технической возможностью остановиться перед стойкой светофора, применив торможение в темпе «не прибегая к экстренному», и располагал такой возможностью при применении «экстренного» торможения.

Таким образом, не располагая технической возможностью остановить транспортное средство в месте, установленном Правилами дорожного движения, в момент включения желтого сигнала светофора при применении торможения в темпе «не прибегая к экстренному», водитель автомобиля Skoda «Fabia» в соответствии с требованиями п.6.14 Правил, получал право на дальнейшее движение и пользовался при этом приоритетом по отношению к транспортным средствам, осуществлявшим поворот налево. Данный вывод кардинальным образом меняет вывод о виновности водителей транспортных средств, участвовавших в дорожно-транспортном происшествии.

Алгоритм определения величины замедления для указанных условий и продолжительности времени нарастания замедления представлены ниже (таблица 1, 2). Связь действий водителя автомобиля Skoda «Fabia» с событием, с технической точки зрения, будет только в том случае, если данный водитель располагал технической возможностью предотвратить столкновение с маневрирующим автомобилем.



## ТРАНСПОРТ

Таблица 1 – Зависимость значения замедления ( $J_{ж}$ ) АТС при применении торможения темпе «не прибегая к экстремному» от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой

Категория АТС	Коэффициент сцепления шин АТС с дорогой																			
	В снаряженном состоянии							С частичной нагрузкой (50%)							С полной нагрузкой					
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	Одиночные АТС																			
M1																				
M2																				
M3																				
N1	4,6		3,6		2,7		1,8		0,9		4,6		3,6		2,7		1,8		0,9	
N2																				
N3																				
	Автопоезда																			
M1																				
M2																				
M3																				
N1	4,6		3,6		2,7		1,8		0,9		4,6		3,6		2,7		1,8		0,9	
N2																				
N3																				

Таблица 2 – Зависимость значения времени нарастания замедления ( $t_3$ ) АТС при применении торможения темпе «не прибегая к экстремному» от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой

Категория АТС	Коэффициент сцепления шин АТС с дорогой																			
	В снаряженном состоянии							С частичной нагрузкой (50%)							С полной нагрузкой					
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	Одиночные АТС																			
M1	0,35		0,30		0,25		0,20		0,15		0,35		0,30		0,25		0,20		0,15	
M2	0,60		0,50		0,40		0,30		0,25		0,60		0,50		0,40		0,30		0,25	
M3																				
N1	0,35		0,30		0,25		0,20		0,15		0,35		0,30		0,25		0,20		0,15	
N2																				
N3																				
	Автопоезда																			
M1	0,35		0,30		0,25		0,20		0,15		0,35		0,30		0,25		0,20		0,15	

M2	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25
M3															
N1	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
N2	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25
N3															

К сделанным расчетам величины замедления транспортных средств при применении водителем торможения в темпе «не прибегая к экстремному», в дополнение следует указать на необходимость расчета полученных параметров торможения для иных дорожных условий и иных транспортных средств.

**Заключение**

Приведенная методика позволяет произвести расчет технической возможности остановить транспортное средство в месте, установленном ПДД РФ в момент включения запрещающего «желтого» сигнала светофора. Данный расчет позволяет устанавливать приоритет между водителями транспортных средств, осуществляющими въезд на пересечение проезжих частей по конфликтующим направлениям. Предлагаемый алгоритм проезда регулируемого перекрестка построен по результатам проведенных натурных испытаний (экспериментальных заездов автомобилей). До настоящего времени расчет возможности произвести остановку в местах, установленных Правилами дорожного движения, производится экспертами-автотехниками с использованием замедления при «экстремном» торможении. Это противоречит требованиям Правил дорожного движения, запрещающим производить «резкое» торможение, если это не требуется для предотвращения дорожно-транспортного происшествия (п.10.5 Правил дорожного движения РФ) и ведет к необоснованному принятию решения о виновности участников дорожно-транспортного происшествия.

**Библиографический список**

1. Городокин, В.А. О некоторых проблемах безопасности пешеходов / В.А. Городокин, З.В. Альметова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – № 1. – С. 231–237.

2. Правила дорожного движения Российской Федерации. – М. : ООО «ИДТР», 2015. – 64 с.

3. Городокин, В.А. Установление причинно-следственных связей между действием (бездействием) участников дорожного движения и событием – дорожно-транспортным происшествием : монография / В.А. Городокин, А.В. Кудрявцева. – М. : Юрлит-информ, 2015. – 192 с.

4. Евтюков, С.А. Экспертиза ДТП : справочник / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – СПб. : ДНК, 2006. – 189 с.

5. Конвенция о дорожном движении. Европейское соглашение, дополняющее Конвенцию о дорожном движении, открытую для подписания в Вене 8 ноября 1968 года, совершено в Женеве 1 мая 1971 года. – М. : «Ассоциация автомобильных перевозчиков», 1994. – 53 с.

6. Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – М. : Транспорт, 1981. – 252 с.

7. Селиванов, Н.А. Расследование дорожно-транспортных происшествий / Н.А. Селиванов, А.И. Дворкин, Б.Д. Завидов. – М. : Лига Разум, 1998. – 448 с.

8. Городокин, В.А. Правовые, технические и виктимологические проблемы обеспечения безопасности на нерегулируемых пешеходных переходах : монография / В.А. Городокин, А.В. Майоров. – Челябинск : Цицеро, 2012. – 130 с.

9. Пучкин, В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: База данных. Экспертная техника. Методы решений / В.А. Пучкин. – Ростов н/Д : ИПО ПИ ЮФУ, 2010. – 400 с.

10. Иларионова, В.А. Судебная автотехническая экспертиза / В.А. Иларионова. – М. : Судэкс, 2001. – 156 с.

11. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП / Ю.Б. Суворов. – М. : Экзамен, 2003. – 208 с.

12. Pogotovkina, N.S., Almetova, Z.V., Gorchakov, Y.N., Kosyakov, S.A., Kheday, V.D. Motorization in Russia: Challenges and solutions / N.S. Pogotovkina, Z.V. Almetova, Y.N. Gorchakov, S.A. Kosyakov, V.D. Kheday // International Journal of Applied Engineering Research, India Publications, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scopus.com/results>.

## THE METHOD OF CALCULATION AND PRIORITY WHEN CROSSING CONTROLLED INTERSECTION IN THE INTERVAL SHIFTS PERMITTING TRAFFIC LIGHT SIGNAL PROHIBITING

V.A. Gorodokin, Z.B. Almetova, E.V. Shepeleva

**Abstract.** The article shows the need to establish the values of the deceleration value of the vehicle, which drivers must carry out speed reduction in the pace "without resorting to emergency braking." The definition of "emergency braking", not in the normative legal acts of the Russian Federation, and the deceleration of vehicles when you apply a driver braking temp without resorting to emergency." The example of calculation of the technical capabilities to make a stop in place, regulated by the Rules of the road, at the moment when the yellow traffic light when applying the emergency brake and brake on the pace, "without resorting to emergency."

**Keywords:** adjustable the intersection, traffic safety, the magnitude of the deceleration of the vehicle

### References

1. Gorodokin V.A., Almetova Z.V. O nekotorykh problemakh bezopasnosti peshehodov [About some problems of pedestrian safety]. Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse, 2015, no 1, pp. 231-237.
2. Pravila dorozhnogo dvizheniya Rossiyskoy Federatsii [Traffic rules of the Russian Federation]. Moscow: OOO «IDTR», 2015, 64 p.
3. Gorodokin V.A., Kudryavtseva A.V. Ustanovlenie prichinno-sledstvennykh svyazey mezhdru deystviem (bezdeystviem) uchastnikov dorozhnogo dvizheniya i sobytiem – dorozhno-transportnyim proisshestviem. [Establishing cause-effect relationships between the action (or inaction) of road users and event – traffic accident.]. Monograph. Moscow, Yurlit-inform, 2015. 192 p.
4. Evtyukov S.A., Vasilev Y.V. Ekspertiza DTP: spravochnik [Examination of road accidents: a handbook]. Saint-Petersburg, DNK, 2006. 189 p.
5. Konventsiya o dorozhnom dvizhenii. Evropeyskoe soglashenie, dopolnyayushee Konventsiyu o dorozhnom dvizhenii, otkryituyu dlya podpisaniya v Vene 8 noyabrya 1968 goda, sovershenno v Zheneve 1 maya 1971 goda [Convention on road traffic. European agreement supplementing the Convention on road traffic opened for signature at Vienna on 8 November 1968 done at Geneva on 1 may 1971]. Moscow, «Assotsiatsiya avtomobilnykh perevozhnikov», 1994. 53 p.
6. Kremenets Yu.A., Pecherskiy M.P. Tehnicheskie sredstva regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya [Technical means of traffic regulation]. Moscow, Transport, 1981. 252 p.

7. Selivanov N.A., Dvorkin A.I., Zavidov B.D. Rassledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy [The investigation of traffic accidents]. Moscow, Liga Razum, 1998. 448 p.

8. Gorodokin V.A., Mayorov A.V. Pravovyye, tehnicheskie i viktimologicheskie problemy obespecheniya bezopasnosti na nereguliruemyykh peshehodnykh perehodakh [Legal, technical and victimological problems of safety on unregulated pedestrian crossings.]. Monograph. Chelyabinsk, Tsitsero, 2012. 130 p.

9. Puchkin V.A. Osnovy ekspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: Baza dannykh. Ekspertnaya tehnika. Metody resheniy [Basis of expert analysis of road accidents: the Database. Expert technique. Solutions]. Rostov-on-Don, IPO PI YuFU, 2010. 400 p.

10. Ilarionova, V.A. Sudebnaya avtotehnicheskaya ekspertiza [Judicial autotechnical expertise]. Moscow, Sudeks, 2011. 156 p.

11. Suvorov, Yu.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza. Sudebno-ekspertnaya otsenka deystviy voditeley i drugih lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, na uchastkakh DTP [Court traffic expertise. Forensic assessment of the actions of drivers and other persons responsible for ensuring traffic safety, road accidents]. Moscow, «Ekzamen», 2003. 208 p.

12. Pogotovkina, N.S., Almetova, Z.V., Gorchakov, Y.N., Kosyakov, S.A., Kheday, V.D. Motorization in Russia: Challenges and solutions / N.S. Pogotovkina, Z.V. Almetova, Y.N. Gorchakov, S.A. Kosyakov, V.D. Kheday // International Journal of Applied Engineering Research, India Publications, 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scopus.com/results>.

*Городокин Владимир Анатольевич (Россия, г. Челябинск) – кандидат юридических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: gorodok\_vlad@mail.ru).*

*Альметова Злата Викторовна (Россия, г. Челябинск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: zlata.almetova@yandex.ru).*

*Шепелева Елена Витальевна (Россия, г. Челябинск) – аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: sev\_08@mail.ru).*

*Gorodokin Vladimir Anatol'evich (Russian Federation, Chelyabinsk) – Ph. D. in Legal Sciences, Ass. Professor, Department Motor Transport, South Ural state University (national research university) (454080, Lenin av., 76, Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: gorodok\_vlad@mail.ru).*

*Almetova Zlata Viktorovna (Russian Federation, Chelyabinsk) – Ph. D. in Technical Sciences, Department Motor Transport, South Ural state University (national research university)" (454080, Lenin av., 76, Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: zlata.almetova@yandex.ru).*

*Shepeleva Elena Vital'evna (Russian Federation, Chelyabinsk) – post-graduate student of the Department Motor Transport, South Ural state University (national research university) (454080, Lenin av., 76, Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: sev\_08@mail.ru).*

УДК 629.113

### РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

И. А. Козлов, В.В. Евстифеев, Р.Ш. Айтыков, Ж.Г. Оспанов  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Представлены тепловые, некоторые конструкторские расчеты, а также планировочные решения одного из вариантов разработки мобильного автомобильного комплекса, предназначенного для работы в районах Севера, в экстренных ситуациях, в зонах, где нет заправочных станций и складов ГСМ, с установкой для питания карбюраторного двигателя газогенератора обратного действия. Базовый автомобиль с V-образным карбюраторным двигателем ЗМЗ – 5233.10 мощностью 130 л.с. оснащается двумя газогенераторами (для обеспечения центровки), резервным бензобаком, лебедкой, емкостями для топлива, бензопилой и ручными пилами, топорами и другими инструментами.

**Ключевые слова:** базовый автомобиль, газогенераторы, виды твердого топлива, устройства очистки и охлаждения газа, генераторный газ, схемы газификации.

#### Введение

В условиях крайнего Севера, в экстренных ситуациях, в зонах, где нет заправочных станций и складов ГСМ, использование транспортно-технологических комплексов с газогенераторными установками (обратного или прямого действия) для питания карбюраторных двигателей весьма перспективно. Об этом говорит опыт Канады и КНДР. Используя, например, в качестве базового шасси внедорожные автомобили и газогенераторы прямого или обратного действия, можно разработать универсальные мобильные комплексы.

Для разработки комплексов был выбран автомобиль Садко-Next с 8-ми цилиндровым V-образным карбюраторным двигателем ЗМЗ – 5233.10 мощностью 130 л.с. при 3200 - 3400 об/мин, имеющим объем цилиндров 4680 см<sup>3</sup>,

с крутящим моментом 314 Н·м, при 2000 об/мин. Двигатель дешевый, отработанный в производстве и доступный в обслуживании. Простой и неприхотливый, он несложен в ремонте и не требует высокой квалификации обслуживающего персонала, что особенно важно для России, в условиях больших расстояний до станций технического обслуживания. Доступность ремонта дополнительно обеспечивается широким распространением запасных частей.

#### Теплотехнические расчеты газогенераторных установок

Первый комплекс предлагается оснастить газогенератором прямого действия (рисунок 1а), второй - газогенератором обратного действия (рисунок 1б), [1, 2].

Исходные данные для определения параметров газогенераторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные для расчета газогенераторных установок

Параметр	Автомобиль Садко-Next
Диаметр цилиндра, D, мм	92
Ход поршня, S, мм	88
Степень сжатия	7,6
Коэффициент наполнения, η	0,75
Частота вращения вала, n, об / мин	3000
Коэффициент избытка воздуха, α	0,99
Теоретическое количество воздуха, L <sub>0</sub>	0,142
Удельная поверхность слоя, b, мм,	30
Температур кислородной зоны, T	1200
Высота активной зоны, H, мм	260

Схемы газификации выбраны с учетом того, в каких регионах будут использоваться комплексы. Преимущество прямого процесса – простота исполнения [2, 3]. Недостаток – большое содержание влаги и смол; такой газ непригоден для питания двигателей, а очистка требует сложной аппаратуры. Данный недостаток можно устранить, используя бессмольное очищенное топливо: древесный уголь, дрова не хвойных пород, кокс, полукокс, антрацит (таблица 2), [2, 3].

Основным достоинством газогенераторов обращенного действия является то, что в них создаются условия для получения бессмольного газа из таких богатых смолами топлив, как дрова хвойных пород, торф и растительные отходы (таблица 2), [4, 5, 6]. В силу этого обращенный процесс газификации и получил наибольшее распространение в силовых газогенераторах стационарного и транспортного типов.

При прямом процессе газификации воздух поступает через колосниковую решетку и входит в кислородную зону (рисунок 1а). Процесс горения углерода протекает с выделением тепла, при этом температура в слое повышается до 1200-1500°C. Поток газов из кислородной зоны, поднимаясь кверху, нагревает расположенный выше слой топлива до температур 900-1100 °С. Здесь углекислота вступает в соединение с раскаленным углеродом и частично восстанавливается до окиси углерода [4, 5, 6, 7].

В газогенераторе обращенного действия воздух подается в среднюю часть слоя топлива (рисунок 1 б), а образующиеся газы отсасываются снизу. Таким образом, активная зона занимает нижнюю часть газогенератора - от места подвода воздуха до колосниковой решетки, ниже которой расположен зольник с газоотборным патрубком.

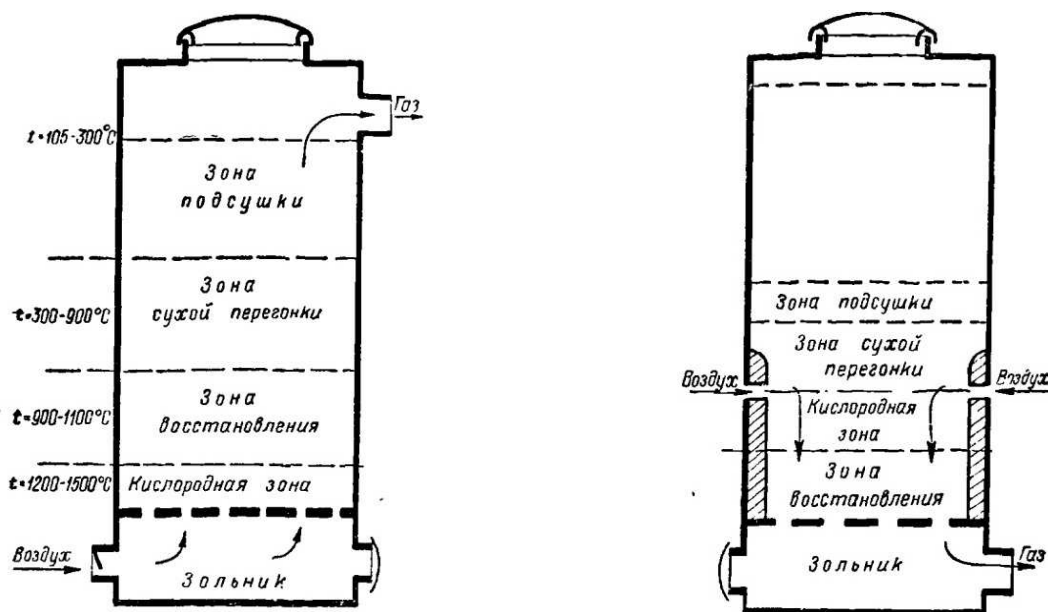


Рис. 1. Схемы газогенераторов: а - прямого действия, б – обратного действия

В состав газогенераторных установок входят (рисунок 2): емкости 2, в которых протекают реакции газификации, очистители-охладители 4, трубопроводы, блоки тонкой очистки 5, раздувочные вентиляторы 7, охладители - смесители 8 и др. элементы.

Теплотворность топлива определяется по формулам Д.И. Менделеева [7]:

$$Q_B = 81C + 300H - 26(O - S), \quad (1)$$

$$Q_H = 81C + 300H - 26(O - S) - 6(9H + W), \quad (2)$$

где С, Н, S, О – процентное содержание химических элементов и влаги W в топливе.

Генераторный газ, получающийся в зоне газификации газогенератора благодаря взаимодействию углерода топлива с кислородом воздуха, представляет собой смесь нескольких газов. Эти газы являются результатом протекания ряда реакций.

Первая реакция:



## ТРАНСПОРТ

Тепло, выделяющееся при этой реакции, приводит к развитию высоких температур в кислородной зоне и плавлению золы. В этих

случаях добавка водяного пара  $W$  к воздуху снижает температуру и выравняет ход генераторного процесса.

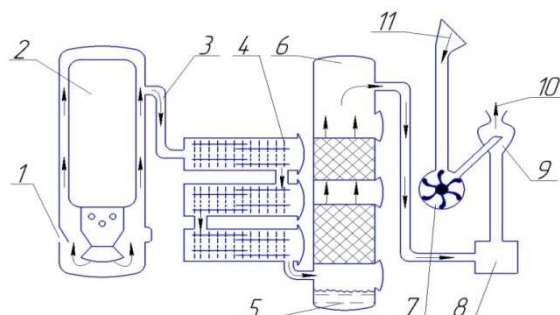


Рис. 2. Схема газогенераторной установки: 1 – забор воздуха; 2 – газогенератор; 3 – выход газа; 4 – блок очистителей-охладителей; 5 – слив конденсата; 6 – блок тонкой очистки; 7 – раздувочный вентилятор; 8 – отстойник газа; 9 – смеситель; 10 – подача смеси в цилиндр; 11 – забор воздуха  
\*Примечание: 1 – топливо смолистое; 2 – топливо бессмольное

Таблица 2 – Виды топлив, используемых для получения силового газа

Класс, *	Вид топлива	Выход летучих $V_f$ , %	Зола, Ас, %	Процесс газификации	Сера, %	Теплотворность газа	КПД, %
1	Древесина	80	до 4	обращенный	0,02	1100-1250	65-72
1	Торф	70	До 30	обращенный	0,30	1100-1200	65-72
1	Растительные отходы	60 - 85	5 - 12	обращенный	0,02	1150-1400	65-72
1	Уголь длинно-пламенный	До 47	13	прямой	0,70		
2	Антрацит	3 - 5	10 - 30	прямой	1,00	1100-1250	72-77
2	Уголь древесный	10 - 20	3 - 5	прямой	0,30	1100-1300	70-75

Скорость реакции в общем виде выражается уравнением:

$$\frac{dC}{dt} = K_1(C_0 - C_1), \quad (4)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация кислорода;  $C_1$  – кислород, израсходованный в течение времени  $t$ ;  $K_1$  – коэффициент скорости реакции.

Вторая реакция:



Эта реакция характерна для восстановительной зоны и отражает процессы восстановления углекислоты в окись углерода. Реакция эндотермичная и идет с увеличением объема, следовательно, повышение температуры и уменьшение давления будут способствовать увеличению выхода  $CO$ .

Константа равновесия реакции определяется по формуле:

$$k = (CO)^2 / (CO_2). \quad (6)$$

Скорость реакции восстановления углекислоты зависит от состояния реагирующей поверхности, от ее пористости.

Время пребывания углекислоты в восстановительной зоне, необходимое для завершения реакций восстановления, можно представить уравнением скорости этой реакции:

$$\frac{dx}{dt} = K_1 \left( m - \frac{m+1}{2} x \right), \quad (7)$$

где  $x$  – содержание  $CO$  в газе по истечению времени  $t$ ;  $m$  – содержание  $CO_2$  в газе в начале реакции;  $K_1$  – коэффициент скорости реакции;  $t$  – время протекания реакции в сек.

Производительность газогенератора определяется в зависимости от параметров двигателя, для питания которого он рассчитывается. Если  $D$  и  $S$  — диаметр и ход поршня,  $m$ ;  $I$  - число цилиндров;  $n$  - частота вращения коленчатого вала;  $\eta$  — коэффициент наполнения.

Тогда расход газовой смеси  $Q_{см}$  для четырехтактного двигателя составит:

$$Q_{см} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot I \cdot \eta \frac{n}{2} 60 M^3 / час = 315,7 M^3 / час \quad (8)$$

$$\text{или } Q_{см} = Q_{газ} + Q_{газ} L_0 a \quad (9)$$

где  $Q_{газ}$  - расход газа двигателем в  $M^3 / час$ ;  $a$  — коэффициент избытка воздуха;  $L_0$  - теоретическое количество воздуха для сгорания газа,  $M^3 / M^3$ ,

$$L_0 = \frac{1}{21} [0,5(CO + H_2) + 2CH_4 - O_2] = 0,142 M^3 / M^3 \quad (10)$$

Из выражений 8, 9, 10 получим:

$$Q_{см} = \frac{1}{1 + a \cdot L_0} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot I \cdot \eta \frac{n}{2} 60 = 277 M^3 / час \quad (11)$$

Тогда расход твердого топлива двигателем определится (при выходе сухого газа в среднем  $2,3 M^3 / кг$ ) из выражения [3]:

$$G = Q_{газ} / E = 120,43 \text{ кг/час} , \quad (12)$$

$$g = \frac{G}{N_e} = \frac{120}{100} \approx 1,2. \quad (13)$$

Эффективная мощность двигателя  $N_e$  определяется методом теплового расчета. Коэффициент наполнения  $\eta_v$  для газогенераторных двигателей колеблется от 0,65 до 0,75. Расход топлива в эксплуатации

будет менее расчетного, так как двигатель обычно работает на прикрытых дросселях. Для получения эксплуатационного расхода необходимо вводить поправку на степень использования мощности.

Основными размерами камеры газификации являются ее высота и диаметр. Высота камеры определяет необходимую и достаточную для завершения процесса толщину слоя топлива, т. е. размер активной зоны по высоте. Диаметр камеры определяет возможную производительность генератора [7].

Профессором Н.П. Вознесенским [8] доказано, что реакции газификации протекают на поверхности топлива. Внутренние области частиц в активной зоне реакцией не охватываются. Поэтому производительность процесса пропорциональна не объему слоя, а его поверхности. В связи с этим рекомендуется заваливать, например, чурочки длиной до 60 мм и небольшого сечения [8]. Таким образом, если при газификации древесины при температурах зоны 1200 и 850°C - средний размер частиц, угля, например, 30 мм, то высота активной зоны будет 260 мм. Опыт показал, что для газификации кускового торфа и торфяного кокса высота активных зон может быть принята такая же, как для древесного угля. Высота же зоны для ископаемых топлив увеличивается в связи с образованием шлака. Приблизительно можно принять коэффициенты увеличения по сравнению с размерами соответствующих активных зон древесного угля: для антрацита 1,8, для бурого угля и многозольного кокса — 1,3.

Таблица 3 – Высота активной зоны [9]

Средний диаметр частиц топлива в активной зоне, мм	Удельная поверхность слоя, $см^2/см^3$	Высота активной зоны в мм при средних температурах зоны горения / зоны восстановления	
		1500 / 1000°C	1200 / 850°C
45	0,86	301	377
50	0,77	336	422
55	0,71	365	457

Высота активной зоны определяет высоту камеры газификации (таблица 3), а диаметр камеры газификации  $D_1$  подсчитывается по формуле:

$$D_1 = 113 \sqrt{\frac{G}{q}} = 113 \sqrt{\frac{120}{600}} = 50,5 \text{ см} \quad (14)$$

Но, так как при установке одного газогенераторного котла, диаметром 600 мм, нагрузка на раму автомобиля и на его конструкцию является не симметричной, и центр тяжести смещается в поперечном направлении, а это ведет к небезопасной эксплуатации автомобиля, было принято решение об установке двух котлов диаметром 400 мм.

## ТРАНСПОРТ

По формуле (14) - где  $G$  - расход твердого топлива двигателем, кг/час;  $q$  - напряженность горения, кг/м<sup>2</sup> час (для древесных чурок  $q = 500 - 900$  кг/м<sup>2</sup> час; для древесного угля  $q = 200 - 500$  кг/м<sup>2</sup> час; для антрацита  $q = 200 - 300$  кг/м<sup>2</sup> час). Тогда для древесно-чурочных газогенераторов  $D1/D2 = 1,6 - 2,3$ . Расстояние от плоскости, проходящей через оси фурм до горловины, для обычных древесно-чурочных автотракторных газогенераторов принимается от 100 до 150 мм. Число и размер фурм определяется условиями равномерного охвата активной зоны дутьем и принятой скоростью входа воздуха. Для газогенераторов обращенного процесса число фурм принимается от 5 до 12.

Суммарное проходное сечение фурм или сопла определяется через часовой расход воздуха  $L'$  час через фурмы (с поправкой на температуру подогрева  $t^\circ C$ ):

$$L'_{\text{час}} = Q_{\text{газ}} \cdot L_0 \frac{273+t}{273} = 277 \cdot 0,142 \frac{273+400}{273} = 97 \text{ м}^3/\text{час} \quad (15)$$

и скорость входа воздуха:

Таблица 4 – Параметры газогенератора

Параметр	Значение	Размерность
Расход газа	277	м <sup>3</sup> /час
Расход дров на 100 км	120	кг
Диаметр камер газификации	Две по 40	см
Диаметр газопровода	19,1	мм
Мощность ДВС	96 (130)	кВт (л.с.)
Время работы на одной загрузке при средней скорости движения 40 км/час	2	ч

С учетом расчетов и рекомендаций [4, 9, 10] предлагаются проекты мобильных комплексов с газогенераторными установками прямого и обращенного процессов газификации. Общая компоновка представлена на рисунке 3. Базовый автомобиль оснащается двумя газогенераторами 1 (в случае выхода из строя одного – второй может быть резервным),

$v = 20 - 30$  м/сек, так:

$$f = 2,78 \cdot \frac{L'_{\text{час}}}{v} = 2,78 \cdot \frac{97}{22} = 12,25 \text{ см}^2 \quad (16)$$

Объем бункера определяется из выражения:

$$V_6 = \frac{G \cdot z'}{\gamma} = \frac{120 \cdot 2'}{100} = 2,4 \text{ м}^3, \quad (17)$$

где  $G$  – расход твердого топлива, кг/час;  $z'$  – максимальное число часов работы на одной загрузке;  $\gamma$  – насыпной вес топлива, кг/м<sup>3</sup>.

Диаметр газопровода равен:

$$d = 0,14 \sqrt{\frac{277 \cdot 673}{10}} = 19,1 \text{ мм}, \quad (18)$$

где  $Q'_{\text{газ}}$  – расход газа при 0<sup>o</sup>C и 760 мм. рт. ст.;  $t$  – температура газа в рассчитываемом сечении газопровода, <sup>o</sup>C;  $v_1$  – допустимая скорость газового потока, равная 10-12 м/сек. В результате теплового расчета определены параметры газогенераторной установки (таблица 4).

очистителями-охладителями 2, блоком чистой очистки газа (расположен между газогенераторами, резервным бензобаком 3, лебедкой, емкостями для топлива, бензопилой и ручными пилами, топорами и другими инструментами, запасное колесо. Возможно в возимый комплект включать надувную лодку.

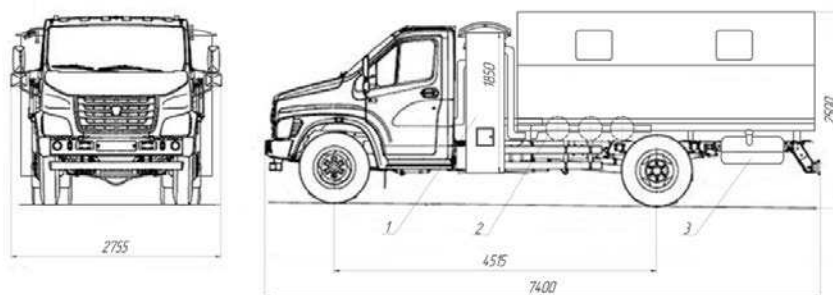


Рис. 3. Компоновка мобильного комплекса на шасси Газон - Next: 1 – газогенераторы; 2 – батарея охладителей - очистителей; 3 – резервный топливный бак



### Заклучение

Теплотехнические расчеты газогенераторов с привязкой к современному российскому автомобилю показали, что в результате проектирования и внедрения установок мы получим мобильные комплексы, которые отвечают требованиям оснащения, расходу топлива и универсальности применения в районах отсутствия ГСМ, складов ГСМ, автобаз, АТП. Базовое шасси автомобилей обеспечивает хорошую проходимость по грунтовым дорогам, в любых климатических условиях и в любое время года.

### Библиографический список

1. Менделеев, Д.И. Сочинения / Д.И. Менделеев ; под ред. Н.М. Караваяева. – Л. ; М. : Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 11. Топливо. – 584 с.
2. Мезин, И.С. Транспортные газогенераторы / И.С. Мезин. – М. : Сельхозгиз, 1948.
3. Коллеров, Л.К. Газомоторные установки / Л.К. Коллеров. – Л. : Машгиз, 1951. – 237 с.
4. Руководство по устройству, изготовлению оборудования и технике безопасности газогенераторных станций, Гостоптехиздат, 1949.
5. Греберг, Г. Основы учения о теплообмене / Г. Греберг, С. Эрк, У. Григуль ; под редакцией Гухмана. – М. : Машгиз, 1958. – 565 с.
6. Теплотехника : учебник / под ред. И.В. Крутова. – М. : Машгиз, 1986. – 432 с.
7. Михайловский, В.П. Расчеты горения топлива, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных железобетонных изделий : учебное пособие / В.П. Михайловский, Э.Н. Мартемьянова, В.А. Ушаков. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2011. – 261 с.
8. Белоусов, В.Н. Топливо и теория горения : учебное пособие / В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин, О.С. Смирнова. – СПб. : Изд-во СПбГТУРП, 2011. – Ч.1. Топливо. – 84 с.
9. Крамаренко, Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей / Г.В. Крамаренко. – М. : Транспорт, 1983. – 487 с.
10. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.
11. Определение основных размеров газогенератора. Лесотранспортные машины. Industrial – wood.ru
12. Вознесенский, Н.П. Легкие газогенераторы, исследование их работы, теория, расчет и применение в лесотранспорте : дис. ... канд. техн. наук / Вознесенский Н. П. – Архангельск : Лесотехнический институт. – 1937. – 472 с.

### DEVELOPMENT OF MOBILE COMPLEX WITH THE GAS GENERATOR

I.A. Kozlov, V.V. Evstifeev,  
R.Sh. Atytkov, J.G. Ospanov

**Abstract.** Presented heat, some engineering calculations and planning decisions of one embodiment of a mobile automobile complex development, designed to work in areas of the North, in emergency situations, in areas where there are no gas stations and fuel depots, with the installation of the carburetor engine power gas generator facing action. The base car with a V-carburetor engine ZMZ - 5233.10 130 hp is equipped with two gas generators (for centering), reserve fuel tank, winch, tanks for fuel, chainsaws and handsaws, axes and other tools.

**Keywords:** the base car, gas generators, solid fuels, gas cleaning and cooling devices, producer gas, gasify.

### References

1. DI Mendeleev Works, Volume 11. Fuel / ed. NM Karavaeva - L: M. : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1949. - 584 p..
2. Mezin, IS, Transportation gasifiers / IS Mezin. - M. : Sel'khozgiz 1948.
3. Kollerov, LK NGV installation / LK Kollerov. - L. : Mashgiz, 1951. - 237 p.
4. The installation guide, the production equipment and the safety of gas-stations, Gostoptekhizdat 1949.
5. Greberg, D Fundamentals of heat transfer / S. Erk, W. Grigull, G.Greberg // edited Gukhman. - M. : Mashgiz, 1958. - 565 p.
6. Heat: Textbook / red.I.V. Krutov. - M. : Mashgiz, 1986. - 432 p.
7. St. Michael, VP Calculation of fuel combustion, temperature fields and thermal installations of concrete technology concrete products: a manual / V.P. St. Michael, EN Martemyanova, VA Ushakov. - Omsk: Publishing house SibADI, 2011. - 261 p.
8. Belousov, VN Fuel and combustion theory. Part 1. Fuel: Textbook / VN Belousov, SN Smorodin OS Smirnova. - SPb. : Publishing house SPbGTURP, 2011. - 84 p.
9. Kramarenko G. Technical operation of the vehicle. – M. : Transport, 1983. – 487.
10. Hasanov AD Bases of technical operation of automobiles: Textbook. - Orenburg: SEI OSU, 2003. - 193 p.
11. Determination of the main dimensions of the gasifier. Lesotransportnye machine. Industrial-wood.ru
12. Ascension NP Light gas generators, study of their work, theory, calculation and application in lesotransporte: Dis. ... Cand. tehn. Science / NP Ascension. - Archangel: Forestry Institute. -1937. - 472 with.

*Козлов Илья Анатольевич (Россия, г. Омск) – магистрант, кафедра «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: piton154m@mail.ru).*

Евстифеев Владислав Викторович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: VladEvst@mail.ru).

Айтмыков Риал Шеикпарович (Россия, г. Омск) – магистрант, кафедра «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: 23rial23@mail.ru).

Оспанов Жаслан Гагашевич (Россия, г. Омск) – магистрант, кафедра «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: zhaslan.ospanov.93@mail.ru).

Kozlov Ilya Anatol'evich (Russia, Omsk) - graduate student, department of "Cars, construction materials

and technologies," FGBOU IN "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: piton154m@mail.ru).

Evstifeev Vladislav Viktorovich (Russia, Omsk) - doctor of technical sciences, professor of department of "Cars, construction materials and technologies," FGBOU IN "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: VladEvst @. mail.ru).

Aytykov Rial Sheikparovich (Russia, Omsk) - graduate student, department of "Cars, construction materials and technologies," FGBOU IN "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: 23rial23@mail.ru.).

Ospanov Zhaslan Gagashevich (Russia, Omsk) - graduate student, department of "Cars, construction materials and technologies," FGBOU IN "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: zhaslan.ospanov.93 @ mail.ru).

УДК 656.1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА Г. ОМСКА

С.В. Сорокин, М.Е. Каспер  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию динамики развития пассажирских перевозок общественным транспортом в городе Омске. В статье обобщается практический опыт перевозок городским общественным транспортом в Омске, начиная с 1970 года и по настоящее время. В статье собраны и обработаны данные о работе общественного пассажирского транспорта в Омске, дана характеристика его работы, показана динамика для таких показателей как объем перевозок, количество подвижного состава, эксплуатационная скорость, интервал движения и других по годам, видам транспорта, в разрезе предприятий.

**Ключевые слова:** городской общественный пассажирский транспорт, объем перевозок, автотранспортное предприятие, муниципальный транспорт, коммерческий транспорт.

#### Введение

Современное состояние пассажирских перевозок городским общественным транспортом в Омске характеризуется ухудшением показателей работы муниципального транспорта и увеличением доли частного капитала в данной отрасли. В городе Омске около двух третей всех маршрутов города обслуживаются перевозчиками немуниципальной собственности. При этом формирование маршрутной сети и структуры парка подвижного состава коммерческих перевозчиков осуществляется, как правило, стихийно. И хотя ускоренное развитие частного капитала сокращает в целом необходимость в бюджетном финансировании данной отрасли, проблемы муниципального транспорта, при этом, всё более обостряются. Для того, чтобы определить дальнейшие направления повышения эффективности работы

общественного транспорта в условиях слабой координации работы муниципального и коммерческого транспорта, высокой степени износа подвижного состава муниципального транспорта и нарастающей конкуренции со стороны частных перевозчиков, целесообразно проанализировать динамику развития общественного пассажирского транспорта в городе.

#### Динамика развития пассажирских перевозок общественным транспортом в Омске

Одним из основных показателей, характеризующим эффективность работы общественного транспорта является объём перевозок. На рисунке 1 представлено изменение годового объёма перевозок общественным пассажирским транспортом в Омске [1-8].

## ТРАНСПОРТ

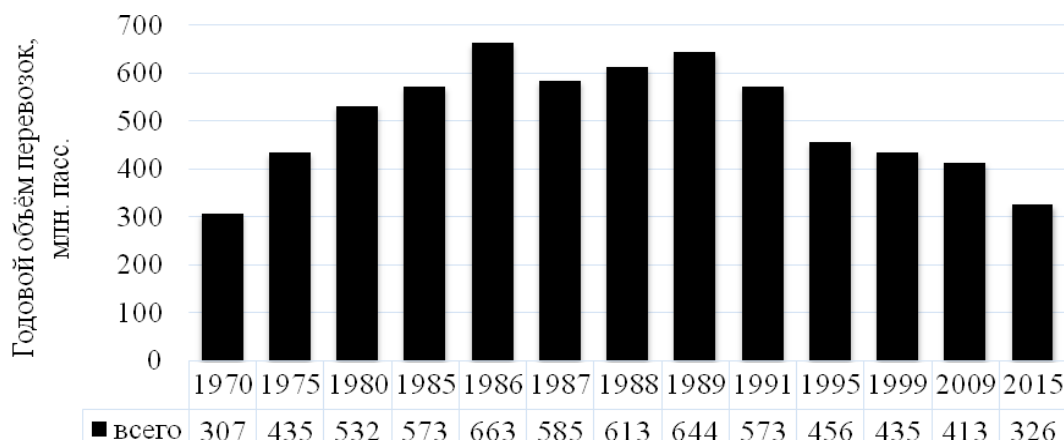


Рис. 1. Динамика изменения годового объёма перевозок общественным пассажирским транспортом в Омске

В период с 1970 по 1986 год наблюдается увеличение объёмов перевозок, что связано как с постоянным развитием системы общественного транспорта, так и общим улучшением демографической и экономической ситуации в условиях низкой автомобилизации населения. С началом «перестройки» объём перевозок стабилизировался, и даже наметилась тенденция к его снижению. После 1991 года с изменением условий функционирования и общим ухудшением экономической ситуации объём перевозок общественного транспорта

постоянно снижался. После 1999 года произошла стабилизация ситуации. Дальнейшее уменьшение объёмов перевозок связано с увеличением уровня автомобилизации населения и сокращением объёма предоставляемых услуг.

Более точную информацию о распределении объёмов перевозок дают результаты суточных обследований пассажиропотока, результаты которых для различных периодов времени представлены на рисунке 2 [1-8].

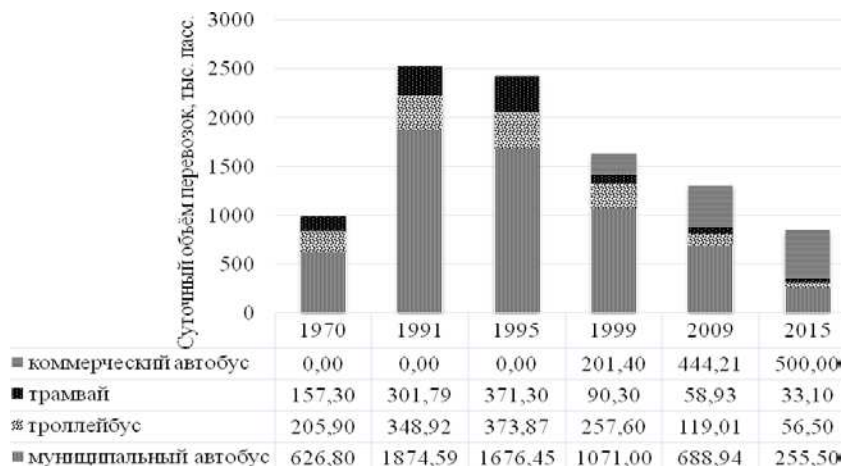


Рис. 2. Суточный объём перевозок общественным пассажирским транспортом Омска по годам

С 1970 по 1990 гг. объёмы перевозок муниципальным транспортом, в том числе объёмы перевозок электротранспортом – троллейбусами и трамваями, значительно выросли. В этот период увеличивалась длина контактной сети электротранспорта,

открывались новые маршруты. В период с 1990 по 1995 гг. объёмы перевозок электротранспортом, несмотря на начавшиеся изменения в экономике и политике по отношению к муниципальному транспорту, продолжали расти, электротранспорт был более устойчив к

## ТРАНСПОРТ

этим изменениям, в то же время объёмы перевозок автобусами сократились незначительно.

В 1999 году с появлением на дорогах коммерческого общественного транспорта, который, с одной стороны пришёл на помощь муниципальному, а с другой стороны составил ему конкуренцию, объёмы перевозок муниципальным транспортом ещё более сократились. Однако основная причина снижения объёмов перевозок муниципальным транспортом кроется не в перехватывании пассажиров частными перевозчиками, а в популяризации личного автотранспорта одновременно с ухудшением качества перевозок общественным транспортом. При этом трамвай ежедневно стал перевозить в четыре раза меньше

пассажиров, чем четыре года назад, троллейбус - в полтора раза меньше. К 2009 году объёмы перевозок муниципальным транспортом стали ниже, чем в 1970 году, коммерческие автобусы стали перевозить ежедневно практически столько же пассажиров, сколько и муниципальные. На 2015 год объёмы перевозок общественным транспортом в целом стали ниже, чем в 1970, а частные автобусные перевозчики перевезли в два раза больше пассажиров, чем муниципальные.

Динамика изменения объёмов перевозок в большой степени зависит от количества подвижного состава на маршрутах. На рисунке 3 отображено изменение количества подвижного состава общественного пассажирского транспорта по годам [1-8].

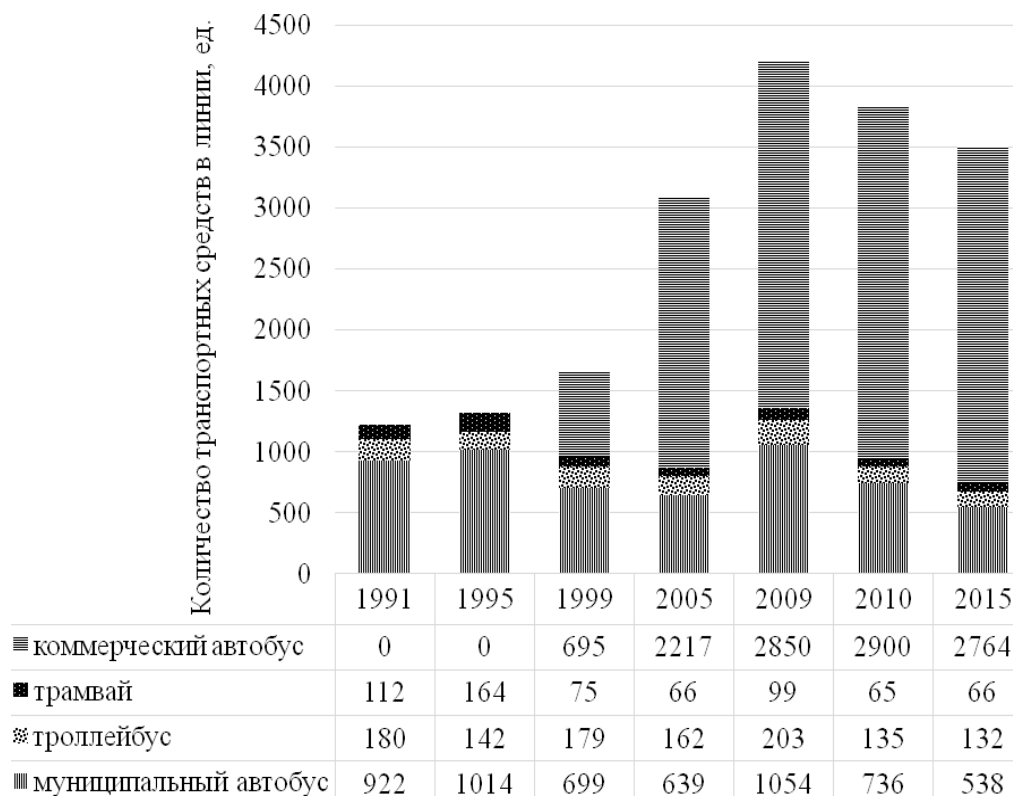


Рис. 3. Количество подвижного состава общественного пассажирского транспорта Омска на линии по годам

С 1991 по 1995 гг. количество подвижного состава на линии практически не изменилось, что связано с предоставлением кредита Европейского банка реконструкции и развития на приобретение автобусов в 1994-1995 гг. В 1997 году на дорогах города появились первые частные автобусы, и уже к 1999 году количество частных автобусов

практически уравнилось с количеством муниципальных. Исходя из стремления повысить пропускную способность транспортных магистралей в центре города произошло существенное сокращение маршрутной сети электротранспорта. К 2005 году количество частного подвижного состава выросло в три раза, в то время как

## ТРАНСПОРТ

муниципальный подвижной состав, в том числе и электротранспорт, продолжал сокращаться из-за износа и отсутствия новых закупок. В 2009 году произошло увеличение количества подвижного состава муниципальных предприятий за счёт закупок новых транспортных средств, вместе с этим рост количества частных транспортных единиц на дорогах был приостановлен административным путём. К 2016 году количество частных автобусов практически не изменилось, наблюдается тенденция к сокращению числа транспортных единиц частных перевозчиков за счёт увеличения их провозной возможности с одновременным увеличением вместимости. Муниципальный подвижной состав на линии опять резко сократился, так как большая часть его уже превысила срок службы.

В 1995 году по сравнению с 1991 годом объём перевозок, приходящийся на один троллейбус выше, это связано как с некоторым сокращением количества троллейбусов на линии, так и с увеличением объёма перевозок электротранспортом, остальные показатели (для автобуса и трамвая) несколько снизились. К 1999 году

происходит снижение объёмов перевозок на одну транспортную единицу в два раза по всем видам муниципального транспорта, это обусловлено как сокращением объёмов перевозок в целом, так и конкуренцией со стороны частного подвижного состава. К 2005 году одна муниципальная транспортная единица перевозит уже в четыре раза меньше по сравнению с 1995 годом, это происходит одновременно с сокращением объёмов перевозок муниципальными предприятиями. Однако и один частный автобус так же перевозит в два раза меньше, но уже за счёт увеличения количества частных автобусов на рынке услуг. В 2016 году наблюдается дальнейшее снижение объёмов перевозок, приходящихся на одну единицу муниципального подвижного состава. Коммерческий же подвижной состав, напротив, перевозит в одной единице больше пассажиров, что связано с переходом на автобусы большей вместимости.

На рисунке 4 объём перевозок по видам общественного пассажирского транспорта в Омске изображён в процентном соотношении [1-8].

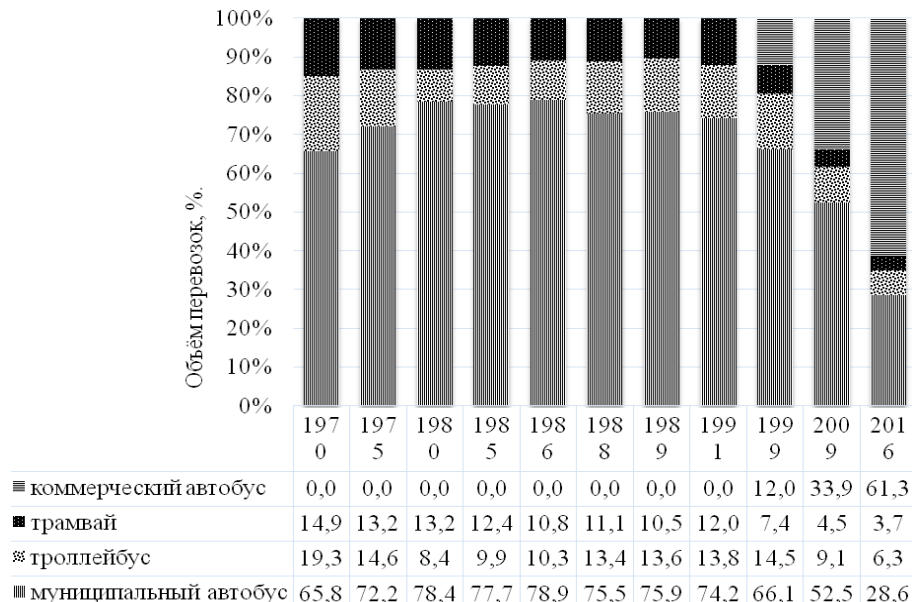


Рис. 4. Объём перевозок в процентном соотношении по видам общественного пассажирского транспорта Омска по годам

На рисунке показано, что доля коммерческого транспорта в общем объёме перевозок общественного транспорта в городе Омске, начиная с 1999 года, неуклонно растёт и на данный момент составляет более половины от общего объёма перевозок.

Количество подвижного состава определяет величину такого важного показателя качества транспортного обслуживания как интервал движения, динамика изменения которого представлена в таблице 1 [1, 2, 5, 6, 8].

## ТРАНСПОРТ

Таблица 1 - Интервал движения общественного пассажирского транспорта в Омске по годам

Вид транспорта	1989 год	2005 год	2009 год
Муниципальный транспорт	9,25	14,22	21,80
Коммерческий транспорт (автобус)	-	7,15	6,70

Из таблицы видно, что интервал движения муниципального транспорта в последние годы значительно выше рекомендуемого интервала, который необходим для соблюдения качества перевозки пассажиров [12]. Коммерческий транспорт, напротив, характеризуется достаточно небольшими интервалами движения, что связано в первую очередь с небольшой вместимостью транспортных средств, а также с насыщением данного сегмента рынка транспортных услуг. В 2014 году по результатам обследования

коммерческого транспорта фактический интервал движения не изменился и составил в среднем 6 минут [9].

Также качество транспортного обслуживания общественным транспортом определяется значением скорости доставки пассажиров. В таблице 2 представлена динамика изменения средней эксплуатационной скорости разных видов общественного пассажирского транспорта в Омске по результатам обследований [1, 2, 5, 6, 8].

Таблица 2 - Средняя эксплуатационная скорость общественного пассажирского транспорта в Омске

Вид транспорта	1989 год	2005 год	2009 год
Муниципальный автобус	19,01	18,21	18,40
Троллейбус	18,20	16,92	16,30
Трамвай	17,13	16,90	13,30
Коммерческий автобус	-	21,00	21,00

В целом средняя эксплуатационная скорость снизилась и, можно предположить, что продолжит снижаться за счёт роста уровня загрузки транспортных магистралей в городе, причиной которого становится рост числа личных автомобилей. При этом средняя эксплуатационная скорость электротранспорта уменьшилась значительно за счёт износа контактной сети и рельсовых путей. Средняя эксплуатационная скорость коммерческого транспорта выше, чем у муниципального за счёт меньшего количества остановок в пути (при использовании подвижного состава малой и средней вместимости). Частные перевозчики зачастую стремятся заполнить как можно

больше пассажиров, поэтому не соблюдают скоростной режим, обгоняя транспортные средства на дублирующем маршруте в зоне видимости, тратят как можно меньше времени на стоянку на остановочных пунктах, взимая плату за проезд во время движения в ущерб безопасности, либо, наоборот, увеличивают время стоянки на остановочных пунктах в ожидании пассажиров.

Величина транспортной работы по перевозке пассажиров определяется как объёмом перевозок, так и величиной дальности поездок. В таблице 3 показано изменение средней дальности поездки пассажиров по результатам обследований в 1991 и 2009 годах [1, 2, 8].

Таблица 3 - Средняя дальность поездки на общественном пассажирском транспорте Омска

Вид транспорта	1991 год	2009 год
Муниципальный автобус	3,88	4,52
Троллейбус	3,69	3,71
Трамвай	2,71	2,18
Коммерческий автобус	-	7,24

Следует отметить, что средняя дальность поездки при использовании автобусного транспорта стала выше из-за расширения

географии поездок. Так как в настоящих условиях скорость электротранспорта оставляет желать лучшего из-за износа

## ТРАНСПОРТ

контактных сетей и рельсовых путей, пассажиры предпочитают использовать троллейбус и трамвай, перемещаясь на небольшие расстояния, где скорость сообщения незначительно влияет на затраты времени на передвижение. На коммерческом автобусном транспорте средняя дальность поездки значительно выше. Так как коммерческие автобусы имеют более высокую скорость сообщения, а также дают возможность проезда сидя, то пассажир использует именно этот вид транспорта при поездке на большие расстояния в пределах города. Можно предположить, что в настоящее время общая средняя дальность поездки имеет тенденцию к росту из-за тенденции застройки периферийных районов города.

Маршрутный коэффициент является показателем наложения маршрутов на один километр пути. В Омске с появлением коммерческого транспорта можно отметить бурный рост количества маршрутов, это привело к тому, что к 2009 году на один километр пути приходилось 8 маршрутов, хотя в 1991 году он был равен 4,27, а в 1995

году - 5,15 [1, 2, 8]. Однако в условиях перенасыщения рынка и сокращения неэффективных, дублирующих маршрутов Департаментом Транспорта можно предположить, что маршрутный коэффициент уже достиг своего максимума и в дальнейшем количество маршрутов будет сокращаться.

Динамический коэффициент использования вместимости, определяющий эффективность использования подвижного состава, на муниципальном автобусе, который в 1991 и 1995 годах был равен 0,38-0,39, существенно снизился до 0,18 в 2009 году и продолжает снижаться, что связано с уменьшением наполняемости салона из-за снижения объёмов перевозок общественным транспортом в целом и оттока значительной доли пассажиров на коммерческий транспорт [1, 2, 8].

На рисунке 5 представлен суточный объём перевозок в разрезе муниципальных пассажирских предприятий автомобильного транспорта [1-6]. Отсутствие объёмов перевозок говорит о закрытии предприятия в этот период.

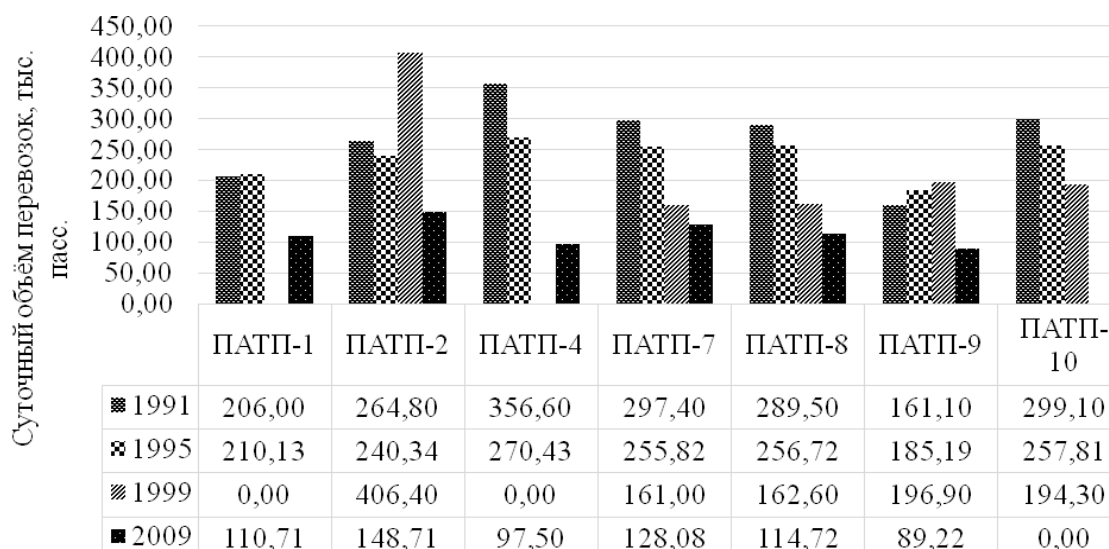


Рис. 5. Суточный объём перевозок муниципальными автотранспортными предприятиями

Следует отметить, что в 1999 году маршруты пассажирского автотранспортного предприятия № 4 были переданы предприятию № 2, именно поэтому в этот период объём перевозок его значительно вырос. Затем автобусный парк № 4 вновь возобновил работу, несмотря на то, что производственно-техническая база была утеряна, и это определённо сказалось на

работе предприятий, особенно на работе предприятия № 4, которое до реорганизации в 1998 году было самым мощным автобусным парком, обслуживающим рекордное число маршрутов. Пассажирское предприятие № 10 после возобновления работы предприятия № 1 при этом вскоре было к нему присоединено. Пассажирское предприятие № 9, которое располагалось в непосредственной близости с

№ 7, было закрыто уже в 2012 году. Объёмы перевозок его снижались в период с 1999 по 2009 годы, хотя до 1999 года оно постепенно развивалось, чего нельзя сказать в этот период о других предприятиях.

### Заключение

В заключение следует сказать о том, что коммерческий транспорт охватывает всё большую долю пассажирских перевозок, но при этом для городского общественного транспорта в целом не определены критерии эффективности функционирования системы. Реформы в сфере перевозок общественным пассажирским транспортом в городе Омске могут дать положительные результаты только после инициирования реформ в других областях, которые влияют на работу транспортной системы города, но при условии эффективной координации работы и регулирования работы как муниципального, так и коммерческого транспорта. Разработка комплексных мер по повышению эффективности функционирования системы общественного пассажирского транспорта повысит привлекательность городского транспорта для пассажиров, что улучшит качество транспортного обслуживания и позволит увеличить объёмы перевозок общественным пассажирским транспортом.

### Библиографический список

1. Издание Омскстата : Омский областной статистический ежегодник : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 1996.
2. Издание Омскстата : Транспорт и связь Омской области : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 1996.
3. Издание Омскстата : Омский областной статистический ежегодник : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2006.
4. Издание Омскстата : Транспорт и связь Омской области : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2006.
5. Издание Омскстата : Омский областной статистический ежегодник : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2009.
6. Издание Омскстата : Транспорт и связь Омской области : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2009.
7. Издание Омскстата : Омский областной статистический ежегодник : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2015.
8. Издание Омскстата : Транспорт и связь Омской области : Стат. сб. / Омскстат. – Омск, 2015.

9. Разработка оценок и рекомендаций по возможности и целесообразности использования автобусов различной вместимости для перевозок пассажиров в г. Омске [Рукопись] : отчёт о НИР (заключ.) : 75-00 / СибАДИ; рук. Ольховский С.Ю.; исполн. : Сорокин С.В. [и др.]. – Омск, 2000. – 80 с. – Библиогр.: с. 70-71. – № ГР 01200108499. – Инв. № 02.20.02 06763.

10. Мониторинг пассажиропотоков и совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта г. Омска [Текст] : отчёт о НИР (заключ.) : / СибАДИ; рук. Ольховский С.Ю.; исполн. : Шаповал В.В. [и др.]. – Омск, 2009. – 157 с.

11. Каспер, М. Е. Исследование коммерческого сектора общественного пассажирского транспорта города Омска / М. Е. Каспер // *Фундаментальные и прикладные науки – основа современной инновационной системы* [Электронный ресурс] : материалы международной научно-практической конференции. – С. 72 – 79. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2015. – Режим доступа : <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD1.pdf>, свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

12. Самойлов, Д. С. Городской транспорт : учебник / Д. С. Самойлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1983. – 384 с.

### RESEARCH OF THE INDICATORS OF OMSK PUBLIC TRANSPORT

S.V. Sorokin, M.E. Kasper

**Abstract.** The article investigates the dynamics of passenger traffic of public transport in the city of Omsk. The article summarizes transportation experience of public transport in Omsk, to the present time since 1970. The paper collected and processed data on the operation of public passenger transport in Omsk, the characteristic of his work, shows the evolution of the main indicators: traffic volume, the amount of rolling stock, cruising speed, range of motion and other by year and by type of transport, in the context of enterprises.

**Keywords:** urban public passenger transport, the volume of traffic, motor transport enterprise, municipal transport, commercial transport.

### References

1. Issue of Omskstat: Omsk Regional Statistical Yearbook: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 1996.
2. Issue of Omskstat: Transport and Communications of the Omsk region: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 1996.
3. Issue of Omskstat: Omsk Regional Statistical Yearbook: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2006.
4. Issue of Omskstat: Transport and Communications of the Omsk region: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2006.



5. Issue of Omskstat: Omsk Regional Statistical Yearbook: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2009.

6. Issue of Omskstat: Transport and Communications of the Omsk region: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2009.

7. Issue of Omskstat: Omsk Regional Statistical Yearbook: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2015.

8. Issue of Omskstat: Transport and Communications of the Omsk region: Stat. collection / Omskstat. - Omsk, 2015.

9. Developing assessments and recommendations on the possibility and feasibility of using buses of various capacity for the transportation of passengers in Omsk [manuscript]: report on research work (concluded): 75-00 / SibADI; Head Olkhovskiy S. Yu. ; by : Sorokin SV [and etc.]. - Omsk, 2000. - 80 p. - Bibliogr. : pp. 70-71. - GR number 01200108499. - Inv. № 02.20.02 06,763.

10. Monitoring of passenger flow and improve the route network of passenger transport Omsk [Text]: report on research work (concluded) / SibADI; hands. Olkhovskiy S. Yu. ; by : Vladimir Shapoval [and etc.]. - Omsk, 2009. - 157 p. – pp. 100-110.

11. Kasper M. E. A study of the commercial sector of public transport of the city of Omsk. *Basic and applied science - the foundation of modern innovation system*. 2015, pp. 72 – 79 <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD1.pdf>

12. Samoylov D.S. *City transport* [textbook]. Moscow, Stroyizdat, 1983. 384 p.

*Сорокин Сергей Владимирович (Омск, Россия) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте», ФГБОУ ВО «Сибирская*

*государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sorsvsibadi@mail.ru, 89139757090).*

*Каспер Мария Евгеньевна (Омск, Россия) – магистрант, направление «Технология транспортных процессов» программа «Организация и управление транспортными процессами», аспирант, научная направленность «Управление процессами перевозок», ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: amka13x689x@mail.ru, 89620383280, 89081060850).*

*Sorokin Sergey Vladimirovich (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. of Economic Sciences, PhD, Associate Professor of «Organization of transportation and transport management», Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Mira, 5 ave, Omsk, Russian Federation, e-mail: sorsvsibadi@mail.ru, 89139757090).*

*Kasper Maria Evgen'evna (Omsk, Russian Federation) – undergraduate student, direction «Transport processes technology», programm «Organization and management of transport processes», graduate student, the scientific direction «Management of processes of transportations», Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Mira, 5 ave, Omsk, Russian Federation, e-mail: amka13x689x@mail.ru, 89620383280, 89081060850).*

УДК 629.1: 656.13

### ДОСТОВЕРНОСТЬ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

А.Н. Чебоксаров

ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются различные критерии эффективности диагностирования транспортных и технологических машин. В качестве основного критерия предлагается использовать достоверность технического диагностирования, которая может оцениваться вероятностью правильного диагноза или ошибкой. Ошибки в свою очередь подразделяются на ошибки первого и второго рода, которые имеют статистический характер и зависят от закона распределения случайных значений измеряемых диагностических параметров, погрешностей измерения, поля допуска на величину измеряемого параметра.

**Ключевые слова:** транспорт, диагностика, эффективность, точность, достоверность, ошибки.

### **Введение**

Система технического диагностирования представляет собой совокупность средств, методов и объекта диагностирования, а также исполнителей, осуществляющих диагностические операции [1].

Основными задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния, поиск (локализация) места отказа (неисправности), определение причины отказа (неисправности), прогнозирование технического состояния.

Результаты технического диагностирования являются основанием для решения вопроса о дальнейшем характере и режиме использования машины [2], времени постановки ее в ремонт, номенклатуре и объеме ремонтно-профилактических работ, включая замену составных частей.

### **Анализ существующих критериев эффективности процесса технического диагностирования**

Эффективность диагностического процесса может оцениваться различными критериями (продолжительность испытаний, общее число проверок или тестов, стоимость их реализаций) только при условиях достаточной точности измерений диагностических параметров и достоверности получаемых при этом результатов.

В ряде работ и исследований критерием эффективности технического диагностирования является его продолжительность. При этом весь процесс диагностирования разделяется на подготовительный, основной и заключительный этапы. Эффективность диагностирования при плановых технических обслуживаниях может определяться по методике профессора И.П. Терских [3].

Экономические показатели позволяют использовать для расчета методику, разработанную в ГОСНИТИ под руководством В.М. Михлина [4, 5, 6]. В основу методики положена зависимость между допускаемыми значениями точности и стоимости, с учетом издержек на диагностирование, техническое обслуживание и ремонт на единицу наработки машины (мото-ч. работы, км. пробега).

Важно отметить, что эффективность диагностического процесса может оцениваться продолжительностью испытаний, общим

числом проверок или тестов, стоимостью их реализации только при условиях достаточной точности измерения диагностических параметров и достоверности получаемых при этом результатов.

Под точностью понимают степень совпадения показаний прибора диагностирования с истинным значением измеряемой величины. Чем меньше эта разница, тем точнее прибор. В качестве истинного значения измеряемого параметра на практике обычно принимают среднее арифметическое значение, полученное в результате серии измерений [7].

Под достоверностью диагностирования понимают количественную оценку степени соответствия полученных результатов и фактического технического состояния объекта. Достоверность диагностирования характеризует то, что полученные результаты измерений в действительности отражают техническое состояние объекта диагностирования [7].

Точность измерения параметров и достоверность технического диагностирования зависят от свойств измеряемых диагностических параметров, методов их измерения, точности измерительных средств, условий, в которых проводят техническое диагностирование, а также квалификации оператора. В свою очередь от точности и достоверности результатов технического диагностирования зависит объективность оценки технического состояния машины, периодичность контрольных проверок, трудоемкость технических обслуживаний и ремонтов, а следовательно, эксплуатационные затраты, в том числе и на техническое диагностирование [7].

### **Оценка эффективности технического диагностирования с помощью критерия достоверности**

Из приведенных показателей оценки эффективности процесса диагностирования наиболее существенным является достоверность диагностирования. Она может оцениваться вероятностью правильного диагноза или ошибкой. Для такой оценки рассмотрим диаграмму результатов диагностирования, приведенную на рисунке 1.

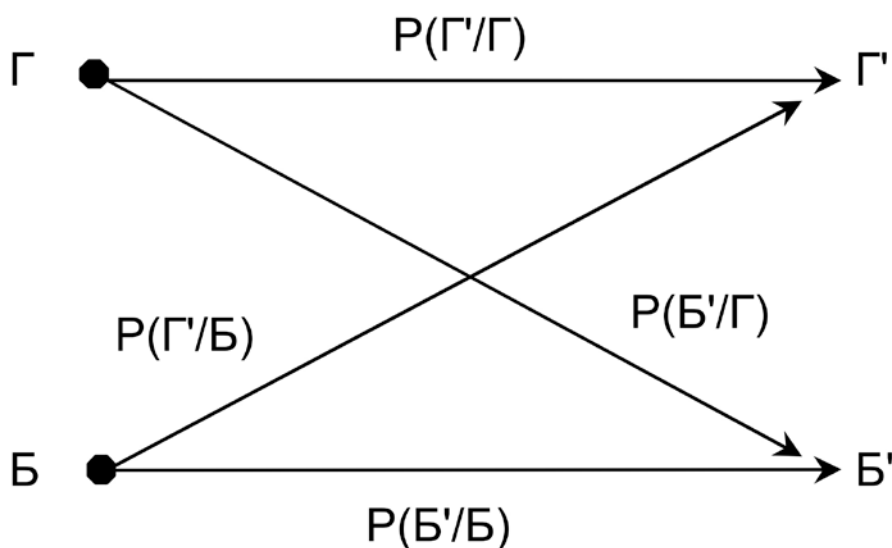


Рис.1. Диаграмма результатов диагностирования:  
 Г, Б – исходное состояние диагностируемого объекта  
 (соответственно исправен или неисправен);  
 Г', Б' – вывод о его состоянии после диагностического эксперимента

Как видно из диаграммы, возможны четыре типа решения:

- исходно (априорно) исправный объект после испытаний признается исправным с вероятностью  $P(Г'/Г)$ ;
- априорно неисправный объект после испытаний подтверждает свое состояние с вероятностью  $P(Б'/Б)$ ;
- исправный объект после экспериментов ошибочно признается неисправным с вероятностью  $P(Б'/Г)$ ;
- неисправный объект после диагностирования ошибочно принимается годным с вероятностью  $P(Г'/Б)$ .

Первые два решения правильны, другие два – ошибки.

Решение об исправности объекта при его фактической неисправности (браковке годного агрегата, узла) назовем ошибкой I рода.

$$P_I = P(Г'/Б), \quad (1)$$

Решение противоположного характера (пропуску дефектного агрегата, узла) назовем ошибкой II рода.

$$P_{II} = P(Б'/Г), \quad (2)$$

Предположим, что диагностический параметр  $x$  должен иметь номинальное значение  $x_n$ , заложенное в технических характеристиках диагностируемого объекта. Кроме номинального значения задается поле допуска  $\Delta x$  в виде минимального  $x_{min}$  и максимального  $x_{max}$  значений  $(x_{min} - x_{max}) = \Delta x$ .

Для оценки ошибок представим диагностический параметр  $x$  как случайную величину, описываемую плотностью распределения вероятности  $P(x)$ . При этом необходимо рассматривать две плотности распределения: для исправного состояния  $P_Г(x)$  и неисправного состояния  $P_Б(x)$ . Эти распределения могут иметь вид, представленный на рисунке 2.

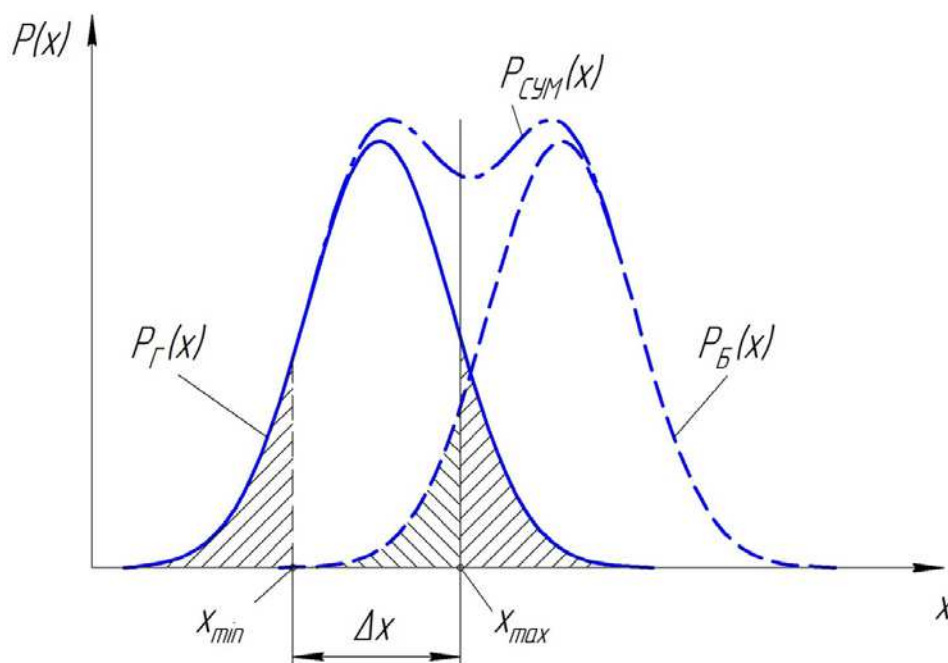


Рис. 2. Плотность распределения вероятности диагностического параметра  $x$

Результирующее распределение принимает вид  $P_{СУМ}(x)$ .

При исправном объекте и границах  $[x_{min}; x_{max}]$  вероятность правильного решения  $P(\Gamma'/\Gamma)$  определяется интегралом от плотности распределения в выбранных границах

$$P(\Gamma'/\Gamma) = \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_G(x) dx. \quad (3)$$

Ошибка в принятии решений определяется первыми двумя составляющими в (4): отбрасываемой в распределении частью, не входящей в диапазон  $\Delta x$  и частью вероятности от распределения  $P_B(x)$

$$P_{II} = P(B'/\Gamma) = \int_{-\infty}^{x_{min}} P_G(x) dx + \int_{x_{max}}^{\infty} P_G(x) dx + \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_B(x) dx. \quad (4)$$

Здесь каждый из интегралов соответствует одной из заштрихованных областей (см. рис. 2).

Ошибка  $I$  рода, т.е.  $P(\Gamma'/B)$  оценивается только третьим интегралом из (4)

$$P_I = P(\Gamma'/B) = \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_B(x) dx. \quad (5)$$

Даже из общего рассмотрения задачи, очевидно, что ошибка зависит от видов распределения параметров  $P_G(x)$  и  $P_B(x)$ , от соотношения их математических ожиданий и от ширины зоны допуска  $\Delta x$ . При увеличении разности математических ожиданий  $(m_B - m_G)$  вероятность ошибки снижается. Расширение зоны допуска  $\Delta x$  уменьшает значения двух первых интегралов в выражении (4), но увеличивает третий член. Вследствие этого, соответственно увеличивается ошибка первого рода  $P_I$ . Кроме того, из выражений (4) и (5) следует, что решаемая диагностическая задача несимметрична, т.е. в любом случае выполняется условие  $P_{II} > P_I$ . В принципе, учитывая преимущественную разницу между  $P_{II}$  и  $P_I$  для транспорта, это особого значения не имеет.

Ошибки первого и второго рода всегда обусловлены многочисленными факторами, их количественные характеристики имеют статистический характер и определяются

вероятностями  $P_I$  и  $P_{II}$ , которые в свою очередь зависят от закона распределения случайных значений измеряемых диагностических параметров, погрешностей измерения, поля допуска на величину измеряемого параметра и других факторов.

В общем случае критерий достоверности технического диагностирования можно определить как [8]

$$D = 1 - (P_I + P_{II}). \quad (6)$$

Ошибки первого рода приводят к неоправданным разборочно-сборочным работам и проверочным операциям, простоям машины, снижению коэффициента ее использования в сменное время. Немаловажным фактором в пользу уменьшения ошибок первого рода является то, что любая разборочно-сборочная операция, даже если отдельные детали агрегата или узла не ремонтируется, снижает их срок службы до 20%.

Ошибки второго рода уже связаны с возможными простоями автомобиля на линии или, что особенно опасно, с возможными дорожно-транспортными происшествиями. Кроме того, ошибки второго рода, допущенные при оценке технического состояния таких агрегатов, как двигатель, а также системы, обеспечивающие его работу, приводят к увеличению затрат на эксплуатацию из-за увеличенного расхода топлива, снижают производительность машин, ухудшают экологические показатели.

### Заключение

Таким образом, для оценки эффективности технического диагностирования транспортных и технологических машин могут использоваться различные критерии. Одним из основных критериев наряду с точностью измерения диагностических параметров может служить достоверность, которая отражает степень соответствия полученных результатов и фактического технического состояния. При определении достоверности основная задача сводится к нахождению ошибок первого и второго рода. Для нахождения ошибок первого и второго рода необходимо использование вероятностных методов при этом измеряемый диагностический параметр необходимо представить в виде плотности распределения вероятности для двух состояний объекта (исправного состояния и неисправного состояния). Величина ошибок первого и второго рода будет зависеть от

соотношения математических ожиданий, от ширины зоны допуска измеряемого параметра, а также закона распределения измеряемой величины.

### Библиографический список

1. Техническая диагностика строительных, дорожных и коммунальных машин : учебное пособие / В.И. Иванов, В.Н. Кузнецова, Р.Ф. Салихов, Е.А. Рыжих. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – Часть 1. Теоретические основы технической диагностики СДКМ. – 132 с.
2. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация) : учеб. пособие для вузов по направлению "Эксплуатация назем. тр-та и трансп. оборудования" / В.Б. Пермяков, В.И. Иванов, С.В. Мельник и др. ; под ред. В.Б. Пермякова. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2007. – 437 с.
3. Терских, И.П. Функциональная диагностика машинно-тракторных агрегатов / И.П. Терских. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1987. – 312 с.
4. Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 335 с.
5. Диагностика и техническое обслуживание машин : учебник для студентов высш. учеб. заведений / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов [и др.]. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
6. Аллилуев, В.А. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка / В.А. Аллилуев, А.Д. Ананьин, В.М. Михлин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 367 с.
7. Чебоксаров, А.Н. Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строительных машин : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Чебоксаров А.Н. – Омск, 2011. – 173 с.
8. Сергеев, А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей / А.Г. Сергеев. – М. : Транспорт, 1980. – 188 с.

### RELIABILITY AS A CRITERION OF EFFICIENCY OF DIAGNOSTICS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

A.N. Cheboksarov

**Abstract.** This article discusses various efficiency criteria for diagnosis of transport and technological machines. As the main criterion it is proposed to use the reliability of technical diagnostics, which can be evaluated by the probability of a correct diagnosis or error. The errors in turn are subdivided into errors of the first and second kind, which have statistical nature and depend on various factors.

**Keywords:** transport, diagnosis, efficiency, precision, reliability, error

### References

1. Ivanov V.I., Kuznecova V.N., Salihov R.F., Ryzhih E.A. *Tehnicheskaja diagnostika stroitel'nyh, dorozhnyh i kommunal'nyh mashin* [Technical diagnostics of construction, road and municipal machines]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2006. 132 p.
2. Permjakov V.B., Ivanov V.I., Mel'nik S.V. *Tehnologicheskie mashiny i komplekсы v dorozhnom stroitel'stve (proizvodstvennaja i tehničeskaja jekspluatacija): Učeb. posobie dlja vuzov po napravleniju "Jekspluatacija nazem. tr-ta i transp. oborudovanija"* [Technological machines and complexes in road construction (production and technical operation)]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2007. 437 p.
3. Terskih I.P. *Funkcional'naja diagnostika mashinno-traktornyh agregatov* [Functional diagnostics of machine-tractor units]. Irkutsk. 1987. 312 p.
4. Mihlin V.M. *Upravlenie nadežnost'ju sel'skohozjajstvennoj tehniky* [Management of reliability of agricultural machinery]. Moscow. 1984. 335 p.
5. Anan'in A.D., Mihlin V.M., Gabitov I.I. *Diagnostika i tehničeskoe obslužhivanie mashin: učebnik dlja studentov vyssh. učeb. Zavedenij* [Diagnostics and maintenance of machines]. Moscow. Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. 432 p.
6. Alliluev V.A., Anan'in A.D., Mihlin V.M. *Tehnicheskaja jekspluatacija mashinno-traktornogo parka* [Technical operation of the engine and tractor park]. Moscow. Agropromizdat. 1991. 367 p.
7. Cheboksarov, A.N. *Sovershenstvovanie tehničeskikh sredstv diagnostirovanija dvigatelej silovyh ustanovok i gidroagregatov dorozhno-stroitel'nyh mashin. dis. kand. tehn. Nauk* [Improvement of technical means of diagnosing the engines of the power plant and generating units of road-building machines]. Omsk, 2011. 173 p.
8. Sergeev A.G. *Točnost' i dostovernost' diagnostiki avtomobilej* [The accuracy and reliability of diagnostics of cars]. Moscow. Transport, 1980. 188 p.

*Чебоксаров Алексей Николаевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: chan23@inbox.ru).*

*Cheboksarov Aleksej Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor «Operation and car repairs» The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: chan23@inbox.ru).*

## РАЗДЕЛ III

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.046

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Ю.В. Краснощеков, В.И. Саунин  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** В статье приведены результаты испытания фрагмента сборного железобетонного перекрытия из натуральных изделий. Эксперимент проводился в соответствии с рекомендациями по расчету ригелей связевого каркаса типовой серии 1.020-1/83 при учете совместной работы с настилом. Проверяли влияние настила на ригели при разных сочетаниях вертикальной и горизонтальной нагрузок. Эффективность взаимодействия оценивали сравнением результатов испытаний ригелей-близнецов в составе перекрытия и по независимой схеме. Выявлено, что работа шпоночных соединений недостаточно надежна, а влияние горизонтальной нагрузки практически отсутствует.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, совместная работа сборных элементов, ригели связевых каркасов, прочность и жесткость, натуральный эксперимент.

#### Введение

В обзоре [1] отмечено, что основное внимание при исследовании перекрытий, нагруженных равномерно распределенными нагрузками, уделяют ригелям, жесткость и прочность которых в условиях взаимодействия с плитным настилом увеличивается до 30 %. Это подтвердили испытания в Омске фрагментов перекрытия из конструктивных элементов серии ИИ-04 [2-4]. В последующем были получены данные о снижении почти на 15 % эффективности

взаимодействия пустотных плит с ригелями, имеющими уширения внизу, в результате действия горизонтальных нагрузок [5].

В ЦНИИП реконструкции городов разработали рекомендации по расчету ригелей связевого каркаса типовой серии 1.020-1/83 с учетом совместной работы со сборным настилом [6]. В рекомендациях предусмотрены конструктивные меры по обеспечению взаимодействия плит с ригелями после замоноличивания швов шпоночной формы (рис. 1).

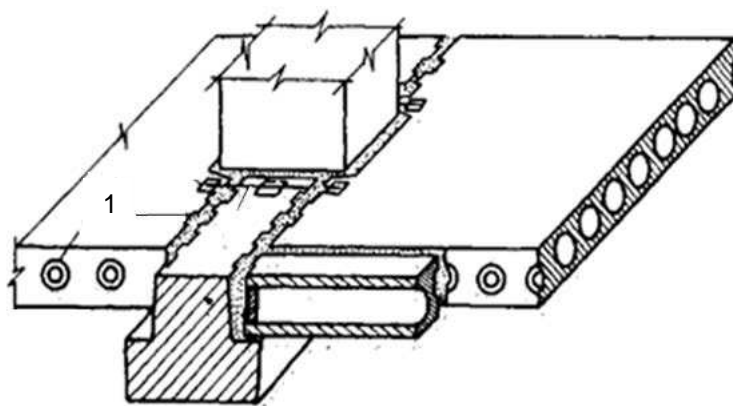


Рис. 1. Фрагмент перекрытия связевого каркаса серии 1.020-1/83;  
1 - прерывистые шпонки в сопряжениях

Согласно рекомендациям учет совместной работы ригелей со сборным настилом при отсутствии в сопряжении прерывистых шпонок, сварных закладных деталей или упоров между связевыми плитами и колоннами не допускается. Кроме этого в случае учета совместной работы ригеля и плит при расчете по первой и второй группам предельных состояний до начала

монтажа конструкций должен быть испытан фрагмент, состоящий из ригеля и плит.

### Описание экспериментального фрагмента перекрытия

При внедрении конструкций межвидовой серии 1.020-1/83 в Омске испытали фрагмент перекрытия. Опытный фрагмент перекрытия из трех ячеек (две ячейки 6×6 м и одна 6×3 м) с поперечным расположением ригелей был смонтирован в лаборатории СибАДИ (рис. 2).

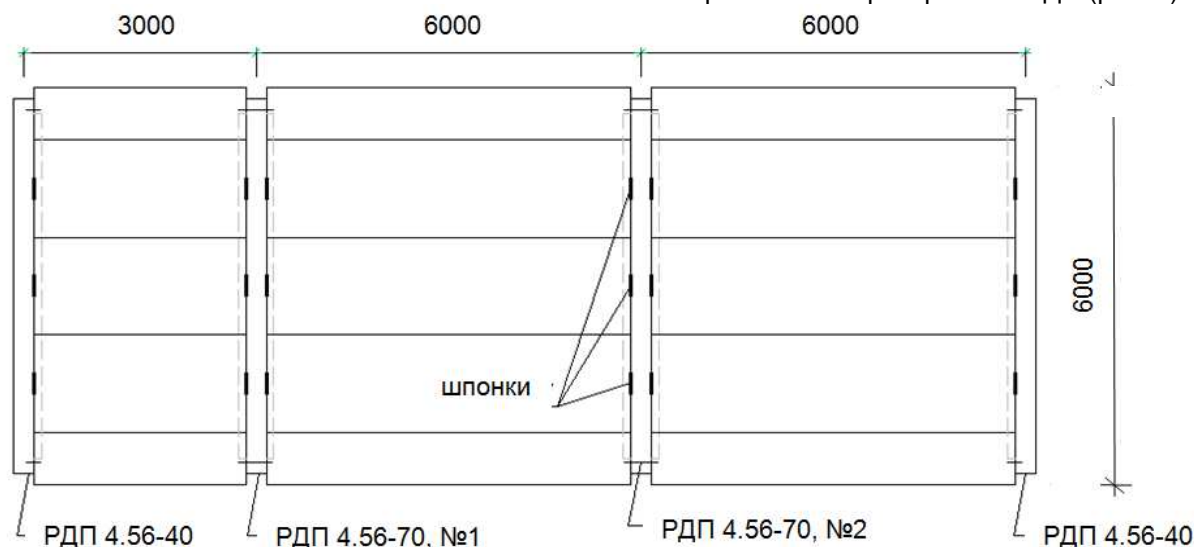


Рис. 2. План фрагмента перекрытия

Средние ригели фрагмента – двухполочные под нагрузку 70 кН/м (РДП 4.56-70 №1 и №2), крайние – ненапряженные однополочные ригели под нагрузку 40 кН/м (РОП 4.56-40). Следует отметить, что расчетный прогиб ригелей на 20 % превышал предельно допустимое значение.

Многупустотные плиты перекрытий по серии 1.041-2 для фрагмента приняты под большую расчетную нагрузку, чем ригели для того, чтобы в процессе испытаний в первую очередь разрушились ригели. В соединениях плит с ригелями были предусмотрены шпоночные образования, остальные соединения плит между собой и с ригелями осуществлялись в соответствии с типовыми решениями [7].

Прочностные и деформативные характеристики раствора замоноличивания бетона и арматуры конструкций соответствовали серии.

Ригели через шарниры и фторопластовые прокладки свободно опирали на стойки, раскрепленные в силовом полу, расстояние между опорными шарнирами каждого ригеля – 5,43 м.

Вертикальную нагрузку создавали равномерно по всему перекрытию шестью гидравлическими домкратами через систему распределительных траверс (рис. 3), контакт загрузочного устройства с плитами осуществляли через фторопластовые прокладки, снижающие влияние трения на нагрузку при перемещениях конструкций. Горизонтальные растягивающие силы создавали двенадцать домкратами, установленными на специальных площадках опорных стоек, и прикладывали к пластинам опорных закладных деталей ригелей.

Испытание фрагмента перекрытия проводили в три этапа. На первых двух этапах оценивали жесткость и трещиностойкость ригелей в первом и повторном нагружениях. Перекрытие загружали вертикальной нагрузкой до значений на ригеле РДП 4.56-70 №2, соответственно, 65,8 кН/м и 81,5 кН/м с последующей разгрузкой.

На первом этапе фрагмент перекрытия загружали также горизонтальными силами растяжения вдоль связевых плит нормативной величиной 59 кН. На втором этапе эти усилия сочетали с растяжением



каждого ригеля силами с расчетными значениями 72 кН и 45 кН.

На третьем этапе вертикальную нагрузку доводили до разрушения ригелей, причем усилия растяжения ригелей не превышали приведенных выше значений, а продольное растяжение фрагмента перекрытия доводили до расчетной величины 70 кН. Растягивающие силы увеличивали после выдержки фрагмента под вертикальной нагрузкой.

Прогибы ригелей во фрагменте измеряли в процессе сборки фрагмента и установки

загрузочных устройств с целью фиксации начальных значений перед испытаниями.

Начальная нагрузка от массы плит и загрузочных устройств на ригели РДП 4.56-70 №1 и №2 составила, соответственно, 19,3 кН/м и 24,5 кН/м.

Наряду с загрузкой перекрытия вертикальной нагрузкой к фрагменту прикладывали горизонтальные силы, которые растягивали ригели и плиты в ортогональных направлениях. Тем самым имитировали усилия, возникающие в диске перекрытия при действии на каркас здания ветровой нагрузки.

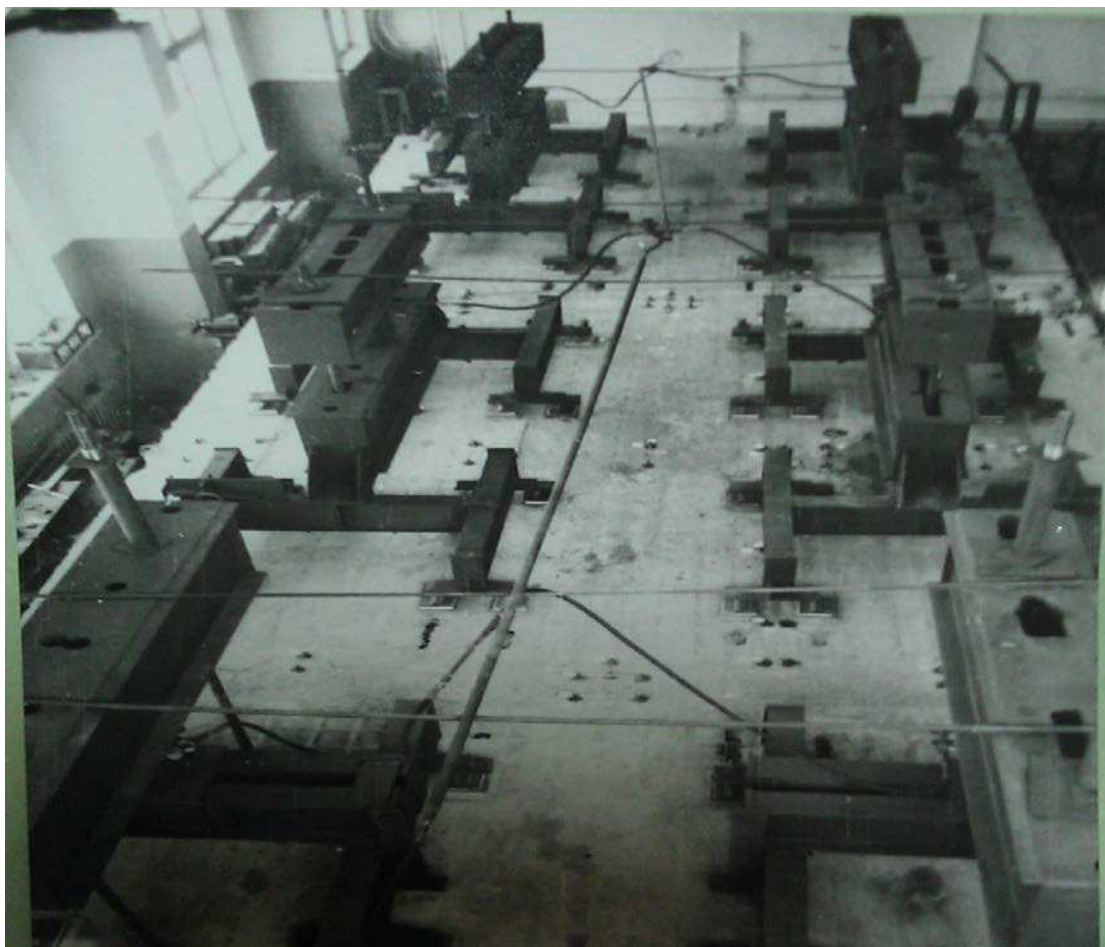


Рис. 3. Общий вид фрагмента

### Результаты испытания

Деформации сдвига между пластинами и ригелями, замеряемые в уровне приопорных шпоночных соединений, стали проявляться для ригеля №2 после нагрузки 31,2 кН/м; для ригеля №1 со стороны ячейки 6×6 м после 33,8 кН/м, а со стороны ячейки 6×3 м после 42,1 кН/м. При нагрузке на средние ригелях 88 кН/м деформации сдвига 6-метровых плит достигли 0,6 мм, а 3-метровые плиты переместились относительно ригеля №1

только на 0,35 мм. Дальнейшее нагружение вызвало резкое увеличение сдвигов 6-метровых плит, максимальная величина которых при приближении к нагрузке 130 кН/м составила 4,4 мм, в то же время характер сдвигов 3-метровых плит был более плавным и деформации сдвига при увеличении нагрузки до 130 кН/м достигли 1,2 мм. Такая особенность развития деформаций сдвига была вызвана большим изгибом плит в ячейках 6×6 м и, соответственно,

раскрытием поверху вертикальных стыков между торцами плит и боковыми гранями ребер ригелей, при котором выступы растворного заполнения стыка выходили из шпоночных пазов ригелей и, таким образом, уменьшалась активная часть шпоночного соединения. И, если до нагрузки 88 кН/м на средних ригелях можно предполагать совместное восприятие сдвигающих усилий неорганизованной (платформенным контактом) и организованной (шпоночным соединением) частями растворного стыка, то в дальнейшем сдвигающие усилия воспринимались практически только платформенным контактом. Это предположение подтверждается зафиксированными при нагрузке 81,5 кН/м на ригеле №2 признаками скалывания шпоночного соединения, завершившегося при нагрузке 88 кН/м срезом части выступов растворного заполнения. Следует отметить, что при испытании фрагмента перекрытия с неорганизованным раствором стыком плит и ригелей [2] деформации сдвига начали проявляться сразу после нагружения и при практически равномерном увеличении достигли к концу испытания значения больше 3 мм.

При разгрузках фрагмента перекрытия наблюдались обратные сдвиги плит относительно ригелей. При разгрузке после первого этапа загрузки остаточные деформации сдвига составили 60 – 80 % от полных значений, а при разгрузке после второго этапа они сократились до 40 – 50 %. При выдержках перекрытия под вертикальной нагрузкой большим приращением сдвиговых деформаций соответствовали большие приращения прогибов ригелей, причем нарастание прогибов за время выдержки замедлялось. Реакции диска перекрытия на растягивающие усилия практически не отмечено.

Крайний в ячейке 6х6 м ригель РОП 4.56-40 достиг предельного состояния по прочности нормальных сечений из-за текучести растянутой арматуры при нагрузке на него 58,9 кН/м и был перехвачен страховочными стойками. Дальнейшее повышение вертикальной нагрузки на фрагменте привело к достижению такого же предельного состояния однополочным ригелем ячейки 6х3 м при нагрузке на него 64 кН/м. Предельные по прочности нормальных сечений нагрузки на ригели РДП 4.56-70 №2 и №1 составили, соответственно, 144 и 151,5 кН/м. Следует отметить, что прогибы плит в крайней ячейке 6х6 м к этому моменту на 50 % превышали прогибы плит в средней ячейке фрагмента перекрытия. При демонтаже плит перекрытий фрагмента выявлено раздробление нижней части приопорных растворных шпоночных соединений ригелей с плитами, высота раздробленной части 4-5 см.

В процессе исследования сравнивали результаты испытаний опытных ригелей в составе фрагмента перекрытия с данными, полученными при испытании отдельных ригелей.

Испытания отдельных ригелей в количестве двух РДП 4.56-70 и одного РОП 4.56-40 проводили в том же режиме загрузки, что и загрузки их аналогов во фрагменте перекрытия. Предельные по прочности нормальных сечений нагрузки для них составили, соответственно, 118,7 и 52,60 кН/м.

Сравнение прогибов двухполочных ригелей, испытанных в составе фрагмента и отдельно, приведено на рис. 4, причем из данных, характеризующих поведение отдельных ригелей, выбраны результаты по наиболее жесткому ригелю.

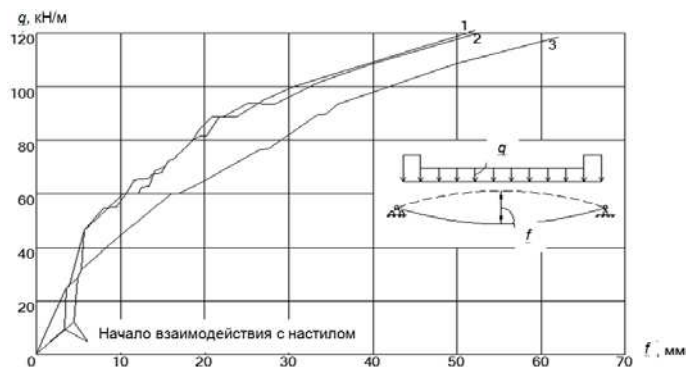


Рис. 4. Прогибы двухполочных ригелей во фрагменте:  
1- РДП 4.56-70 №1; 2- РДП 4.56-70 № 2 в сравнении с прогибами отдельного  
двухполочного ригеля – 3

Идентичный характер имеет и сравнение прогибов однополочных ригелей. Начальные изломы графиков прогибов двухполочных ригелей, испытываемых в составе фрагмента, вызваны как переходом от первой стадии работы ригелей ко второй, так и длительностью (примерно 17 суток) действия нагрузки от массы плит перекрытий от момента их монтажа до набора определенной прочности раствора замоноличивания стыков между элементами фрагмента.

Анализ приращений прогибов ригелей при повторных загрузках показывает, что влияние настила остается существенным

(рис. 5). Большие остаточные деформации сдвига после первой разгрузки связаны с начальным обмятием шпоночных соединений и межплитных швов. Зависимость прогибов ригелей в перекрытии от податливости связей между ними и плитами настила, отмеченная в соответствии приращений прогибов приращениям деформацией сдвига при выдержках под нагрузкой, объясняет то, что приращения прогибов при выдержках отдельного ригеля под нагрузкой значительно ниже. Однако при этом затухающий характер нарастания прогибов ригелей во фрагменте свидетельствует о достаточной надежности такого типа связей.

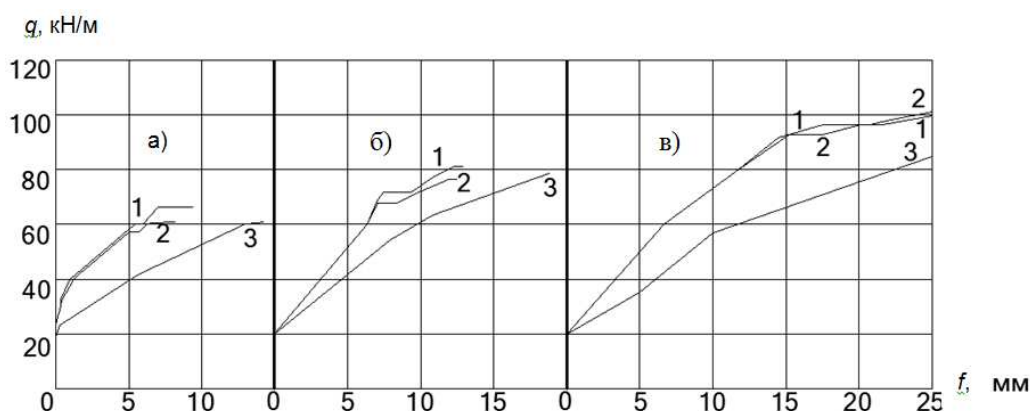


Рис. 5. Приращения прогибов двухполочных ригелей во фрагменте:  
1- РДП 4.56-70 №2; 2- РДП 4.56-70 №1 и 3- отдельного двухполочного ригеля при повторных загрузках;  
а) первое загрузку; б) второе загрузку; в) третье загрузку

Основные результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные результаты испытаний

Вид контролируемых параметров при испытании ригелей	Данные испытаний ригелей		
	отдельных	В составе фрагмента	
		абсолютные	Относительно отдельных
1	2	3	4
Двухполочных:			
Прогибы при контрольной, по оценке жесткости, нагрузке (53,5 кН/м), мм	13,67	9,25/9,04	0,680/0,660
Ширина раскрытия нормальных трещин, при контрольной по оценке трещиностойкости, нагрузке (60 кН/м), мм	0,13	0,12/0,10	0,923/0,810
Предельный изгибающий момент в среднем сечении, кНм	467	590,7/562	1,265/1,203
Однополочных:			
Прогибы при контрольной, по оценке жесткости, нагрузке (31 кН/м), мм	14	10,0/9,5	0,715/0,680
Ширина раскрытия нормальных трещин, при контрольной по оценке трещиностойкости, нагрузке (34,8 кН/м), мм	0,27	0,26/0,22	0,96/0,82
Предельный изгибающий момент в среднем сечении, кНм	214,8	257,9/238,7	1,20/1,11

В таблице для двухполочных ригелей – перед чертой результаты для РДП 4.56-70 №1, после черты – РДП 4.56-70 №2; для однополочных ригелей – перед чертой результаты для РОП 4.56-70 в ячейке 6×3 м, после черты – РОП 4.56-70 в ячейке 6×6 м.

### Заключение

На основании анализа результатов сделаны следующие выводы.

Жесткость ригелей, работающих в составе перекрытия, удовлетворяет требованиям серии 1.020-1/83. Максимальная величина замеренного прогиба для двухполочных ригелей во фрагменте составила 79 % контрольного значения (11,7 мм), хотя для отдельного ригеля замеренный прогиб превысил контрольный на 17 %, что соответствует расчетам данным.

Влияние плит перекрытий сказалось на повышении прочности нормальных сечений двухполочных ригелей на 20 %, однополочных - на 11 %. Жесткость двухполочных ригелей увеличилась на 32 %, однополочных – на 28 % по сравнению с отдельными аналогами.

Влияние настила на повышение трещиностойкости ригелей незначительно и находится в пределах 4 – 7 %.

Шпоночные растворные соединения плит и ригелей работают на восприятие сдвигающих усилий неполным расчетным сечением и могут учитываться только при расчетах ригелей по предельным состояниям второй группы.

Повторное нагружение и затухающий характер нарастания прогибов ригелей при выдержках под нагрузкой свидетельствуют о стабильности разгружающего влияния плит настила и достаточной надежности растворных связей.

Растягивающие усилия в диске перекрытий, предусматриваемые серийно, практически не влияют на характер работы ригелей.

Рекомендации [6] не учитывают взаимодействие элементов сборных железобетонных перекрытий при неорганизованных стыках плитного настила с ригелями связевых каркасов. Для уточнения совместной работы элементов перекрытий с учетом сил трения необходимы экспериментально-теоретические исследования таких конструкций [8].

### Библиографический список

1. Кодыш, Э.Н. Промышленные многоэтажные здания из сборных железобетонных конструкций : обзор / Э.Н. Кодыш. – М. : ВНИИТПИ, 1989. – 85 с.

2. Саунин, В.И. Влияние плит на несущую способность и жесткость ригелей / В.И. Саунин, В.С. Мартемьянов, В.А. Селиванов // Бетон и железобетон. – 1981. – № 5. – С. 7–8.

3. Краснощеков, Ю.В. Учет влияния сборного железобетонного настила при расчете ригелей / Ю.В. Краснощеков, В.И. Саунин, Е.В. Шилов // Бетон и железобетон. – 1983. – № 6. – С. 20–21.

4. Краснощеков, Ю.В. Расчет по деформациям балочных конструкций, совместно работающих с настилом / Ю.В. Краснощеков, В.И. Саунин, Е.В. Шилов // Известия вузов. Стр-во и архитектура. – 1984. – № 12. – С. 5–9.

5. Кутовой, А.Ф. Экспериментальное исследование работы ригелей в составе перекрытия / А.Ф. Кутовой // Экспериментальные и теоретические исследования сборных железобетонных конструкций : сб. научных трудов. – М. : ЦНИИЭПжилища, 1983. – С. 99–105.

6. Рекомендации по расчету ригелей связевого каркаса с учетом совместной работы со сборным настилом [Электронный ресурс]. – М. : 1989. – Режим доступа: <http://mooml.com> (дата обращения к ресурсу: 01.09.2016).

7. Семченков, А.С. Действительная работа многослойных плит перекрытия в составе здания / А.С. Семченков, А.С. Залесов, О.В. Алексеев // Бетон и железобетон. – 1993. – № 4. – С. 2–3.

8. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных стен. (Опыт СССР и ЧССР) / Е. Горачек [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 192 с.

### EXPERIMENTAL STUDIES OF INTERACTION BASIC SHAPES MADE FROM CONCRETE

Y.V. Krasnoshchekov, V.I. Saunin

**Abstract.** The results of the test piece of precast reinforced concrete slab of natural products. The experiment was conducted in accordance with the recommendations for the calculation of transoms frame type series 1.020-1/83, taking into account the joint work with the flooring. We checked the impact of flooring on beams with different-tions combining vertical and horizontal loads. The effectiveness of the interaction was evaluated by comparing the test results of the twin crossbars composed of overlapping and independent scheme. It was found that the work of the dowel connections is not sufficiently reliable, and the influence-of the horizontal load is virtually absent.

**Keywords:** reinforced concrete structures, precast elements work together-ing, of bond beams frames, durability and hardness, natural experiment.

### References

1. Kodysh, E.N. Promyshlennye mnogoetazhnye znaniya iz sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij: Obzor / E.N. Kodysh. – M.: VNIITPI, 1989. – 85 s.

2. Saunin, V.I. Vliyaniye plit na nesushchuyu sposobnost' i zhestkost' rigelej / V.I. Saunin, V.S. Martem'yanov, V.A. Selivanov. // Beton i zhelezobeton. – 1981. - №5. – S. 7-8.

3. Krasnoshchekov, YU.V. Uchet vliyaniya sbornogo zhelezobetonogo nastila pri raschete rigelej / YU.V. Krasnoshchekov, V.I. Saunin, E.V. SHilov. // Beton i zhelezobeton. – 1983. - №6. – S. 20-21.

4. Krasnoshchekov, YU.V. Raschet po deformatsiyam balochnykh konstrukcij, sovmestno rabotayushchih s nastilom / YU.V. Krasnoshchekov, V.I. Saunin, E.V. SHilov. // Str-vo i arhitektura. Izvestiya vuzov. – 1984. - №12. – S. 5-9.

5. Kutovoj, A.F. EHksperimental'noe issledovanie raboty rigelej v sostave perekrytiya / A.F. Kutovoj. // EHksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya sbornyh zhelezobetonnykh konstrukcij: Sb. nauchnykh trudov. –M.: CNIIEHPzhilishcha, 1983. –S. 99-105.

6. Rekomendacii po raschetu rigelej svyazevogo karkasa s uchetoм sovmestnoj raboty so sbornym nastilom. – M.: 1989. – Rezhim dostupa <http://mooml.com>

7. Semchenkov, A.S. Dejstvitel'naya rabota mnogopustotnykh plit perekrytiya v sostave zdaniya.

A.S. Semchknkov, A.S. Zalesov, O.V. Alekseev. // Beton i zhelezobeton. – 1993. - №4. – S. 2-3.

8. Gorachek, E. Prochnost' i zhestkost' stykovykh soedinenij panel'nykh sten (Opyt SSSR i CHSSR) / E. Gorachek, V.I. Lishak, D. Pume i dr. – M.: Strojizdat, 1980. – 192 s.

*Краснощекоев Юрий Васильевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kras1942@mail.ru).*

*Саунин Владислав Иванович (Омск, Россия) – доцент кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: saunina48@mail.ru).*

*Krasnoshchekov Yuri Vasil'evich (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of building structures, State Automobile and Highway Academy "SibADI", (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: kras1942@mail.ru).*

*Saunin Vladislav Ivanovich (Omsk, Russian Federation) – Ass., Department of building structures, State Automobile and Highway Academy "SibADI", (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: saunina48@mail.ru).*

УДК 691.327.33

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ С ЗОЛОЙ ГИДРОУДАЛЕНИЯ

И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** В данной статье предпринята попытка представить усовершенствованный способ производства пенобетона. Усовершенствованная технология производства пенобетона на композиционном вяжущем с содержанием высокодисперсных частиц золы гидроудаления, полученных путем измельчения частиц золы, позволяет производить конструкционно-теплоизоляционный материал, используя отходы производства ТЭЦ. Представлены и обоснованы полученные результаты теплофизических и механических свойств золы как высокодисперсной добавки и пенобетонных образцов.

**Ключевые слова:** пенобетон, зола, технология производства пенобетона, свойства.

#### Введение

Возможность целенаправленно изменять процесс структурообразования, твердения пенобетона является ценным в технологии производства строительных материалов. Частицы твердой фазы композиционного вяжущего являются наночастицами, из которых формируется различная структура пенобетона. Управлять данной структурой в

начальные сроки твердения возможно за счет избыточной поверхностной энергии, которая проявляется в виде внутренних сил дисперсной или дисперсно-зернистой системы и участвует в структурообразовании фаз. На начальном этапе исследований пенобетона определены его основные функции как композиционного материала, состоящего из вяжущего, высокодисперсной

минеральной добавки (золы гидроудаления), пенообразователя, песка и воды.

Оценку структурообразования неорганических соединений цементного камня и пенобетона в целом необходимо вести комплексно, учитывая кристаллохимические особенности веществ, кинетические и термодинамические факторы.

Цементный камень является основным компонентом перегородок в пенобетоне, определяющим его свойства, по которым проходит основной тепловой поток  $Q$  от наружной грани строительного материала к его внутренней грани. Свойства цементного камня определяются гидратацией цемента, а практическая ценность портландцемента определяется в результате химических и физико-химических превращений, которые способны создать прочный камень. [1-3].

### **Основная часть. Усовершенствованная технология производства пенобетона.**

В настоящее время проводятся исследования в научном и практическом плане о связи межфазных взаимодействий и внутренних сил с распределением по крупности частиц, входящих в структуру пенобетона, составляющую из частиц с крупностью  $10 \div 0,1$  мкм.

При получении пенобетонов на тонкозернистом композиционном вяжущем важны удельная поверхность высокодисперсного заполнителя, влияющая на водопотребность бетонной смеси, и площадь сцепления зёрен заполнителя с цементной матрицей, где удельная поверхность дисперсной фазы вычисляется по формуле

$$S_{y\partial} = \frac{S_q}{V_q},$$

где  $S_q$  – поверхность частицы;  $V_q$  – её объём.

Удельные поверхности применяемой высокодисперсной золы составляют  $S_{y\partial}=170-200$  кг/м<sup>3</sup> и  $S_{y\partial}=600-650$  кг/м<sup>3</sup>, а песка варьируется в пределах от 1,97 до 15,83 м<sup>2</sup>/г при пустотности в уплотнённом состоянии от 28,8 до 37,5%.

Использование золы гидроудаления омских ТЭЦ с ультрадисперсным зерновым составом в качестве добавки при производстве пенобетонов является успешным за счет стабильности их физико-химических показателей, способности проявлять пуццолановую активность, способности при обычных температурах

связывать гидроксид кальция с образованием нерастворимых соединений.

Измельчение способствует повышению значения полной свободной поверхностной энергии золы  $U_F$ , которая зависит от энергии Гиббса (единицы поверхности) и скрытой теплоты образования единицы новой поверхности:

$$U_F = \sigma + q_F = G_F + T \cdot S_F,$$

где  $\sigma$  – удельная свободная поверхностная энергия,  $\sigma = dG/dF$ ;  $F$  – площадь поверхности;  $G_F$  – энергия Гиббса (единицы поверхности);  $q_F$  – скрытая теплота образования единицы новой поверхности;  $q_F = T \cdot S_F$ ;  $S_F$  – избыточная энтропия единицы поверхности;  $T$  – температура. [4, 5, 6].

Процесс твердения для придания цементному камню (межпоровому материалу) высокой прочности происходит, вследствие проявления водородных связей, вандерваальсового взаимодействия или ионного притяжения при наличии неуравновешенных электрических зарядов. 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, 6]. С увеличением времени помола удельная поверхность материалов повышается, при этом рост концентрации активных центров замедляется. При механоактивации происходит нарушение контактов между кристаллами с разрывом кремнекислородных валентных связей.

В научных работах А.Г. Колмакова, М.И. Алымова, Б.М. Балояна, гидраты представлены в виде мельчайших частиц – субмикрористаллов – с размерами меньше 0,1 мкм; они создают в прослойках между гидратированными зёрнами 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). [6, 7].

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.

Для получения высокодисперсных частиц на основе золы использовали центробежную дисковую установку, которая по степени дисперсности при сухом помоле позволяет получать ультрадисперсные материалы –  $10^2$ - $10^3$  нм. Центробежная дисковая установка представлена в работе [8] и 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.

Энергозатраты на помол минеральных материалов весьма значительны, поэтому определены рациональные значения удельной поверхности наполнителя, выше которой активность его поверхности возрастает незначительно. Для золы

гидроудаления с  $S_{y\sigma}=600 - 650 \text{ кг/м}^3$  активность практически максимальна.

С технологической точки зрения применение интенсивного механического воздействия на компоненты пенобетона оправдано, так как при механоактивации золы повышается её пуццолановая активность, тем самым значительно повышается её структурообразующая роль.

На приборе лазерного анализатора «MicroSizer 201» был проведен анализ содержания ультрадисперсных частиц золы гидроудаления, полученных в результате активации. Полученные результаты весового распределения частиц зол гидроудаления до и после активации показывают, что количество ультрадисперсных частиц золы гидроудаления размером от 550–1100 нм составляет 15–18%. Микрофотографии частиц молотой золы гидроудаления выполнены с помощью электронной растровой микроскопии на микроскопе РЭМ 100У с разрешением 500 мкм и представлены на рисунке 1.

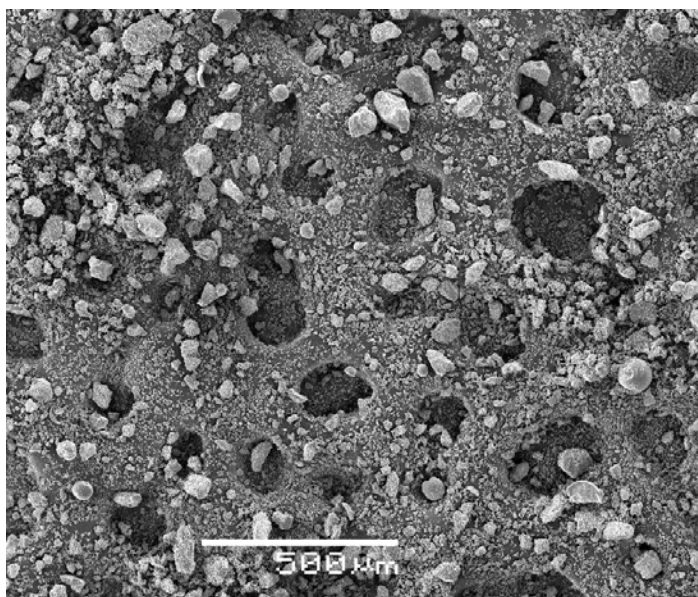


Рис. 1. Частицы молотой золы гидроудаления с  $S_{y\sigma}=600 - 650 \text{ м}^2/\text{кг}$  с разрешением 500 мкм

При изготовлении образцов пенобетона использовались следующие материалы:

1. Вяжущее – портландцемент ЦЕМ II / А-Ш 42,5Н Искитимского цементного завода.
2. Песок гидронамывной с реки Иртыша,  $M_k=1,9-2,1$ ; истинная плотность  $2635 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Зола гидроудаления влажностью 55% , насыпной плотностью  $800 \text{ кг/м}^3$ , удельными поверхностями  $S_{y\sigma}=170-200 \text{ кг/м}^3$  и  $S_{y\sigma}=600-$

$650 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности в воздушно-сухом состоянии  $0,127 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ , плотность естественного сложения в золоотвале  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

4. Пенообразователь ПБ-Люкс (пена отдельно приготовленная:  $H_p - 9,8$ , кратность пены – 10, устойчивость - 7%).

5. Вода водопроводная.

Последовательность процессов технологической схемы приготовления растворной смеси для производства пенобетона:

1. Зола дозируется и поступает в центробежную дисковую установку для помола.

2. Зола, песок и цемент дозируются, перемешиваются и пневмотранспортом подаются в расходный бункер.

3. Пенообразователь и вода с температурой 20-25°C дозируются и поступают в пеногенератор, в котором в течение 5–6 минут взбивается пена.

4. Готовая техническая пена подается в смеситель СМС-40 и перемешивается с раствором (цементно-песчано-зольная смесь) еще в течение 3–4 минут.

5. Готовая пеномасса разливается в формы, после чего производится предварительная выдержка смеси в течение 3–4 часов при температуре 20 °С.

6. Образцы выдерживались при температуре 20±2 °С и относительной влажности 55% 28 суток нормального твердения.

Представленная технология изготовления пенобетона с применением

механоактивированной золы позволяет создать замкнутую структуру пор с определенным средним диаметром и примерно одинаковыми по сечению межпоровыми перегородками. Оптимальная структура пенобетона определена на основании математических моделей предложенных Г.И. Логиновым и А.П. Филиным, которая характеризует заполняемость единицы объема шарообразными телами, более подробно изложена модель в работе [9].

Объем пор в пенобетоне, который формируется технологическим путем, определяется по формуле [6]

$$V_e = [1 - \rho_{cp} \cdot (0,34 + B/T)]/1,1,$$

где  $\rho_{cp}$  – средняя плотность пенобетона, кг/л;  $B/T$  – отношение объема воды затворения к массе твердых веществ, т.е. к массе портландцемента.

Физико-технические показатели пенобетона определялись согласно требованиям ГОСТа, в возрасте 28 суток нормального твердения, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-технические показатели образцов пенобетона

Показатель	Контрольный образец без золы	Удельная поверхность золы			
		$S_{уд}=170-200 \text{ кг/м}^3$		$S_{уд}=600-650 \text{ кг/м}^3$	
		Количество высокодисперсной золы гидроудаления			
		10%	30%	10%	30%
	$R_{сж}$	$R_{сж}$	$R_{сж}$	$R_{сж}$	$R_{сж}$
Номер образца	-	№1	№2	№3	№4
Прочность на сжатие $R_{сж}$ , Мпа	3,5	3,4	3,1	3,6	3,2
Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	658-702	705	695	720	670
Средняя теплопроводность $\lambda_{пен}$ , Вт/(м·К)	0,220	0,170	0,186	0,191	0,183
Морозостойкость, цикл	35	35	35	35	35
Водопоглощение, % по массе	14	14	14	14	14

Для определения содержания пор в пенобетонных образцах использовали метод ртутной порометрии и анализатор

«Porosimeter 2000». Данный прибор позволил измерить широкий интервал размеров пор (мезо- и макропор), общий объем пор в



пенобетонных образцах составил  $0,759 \text{ см}^3/\text{г}$  при диаметре пор от  $0,054 \cdot 10^{-3}$  до  $0,02 \cdot 10^{-3}$  м.

Рентгеновским дифрактометром "Bruker D8 ADVANCE" был определен минеральный состав пенобетонных образцов: минералы  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Наличие продуктов гидратации установлено по пикам с  $d, \cdot 10^{-10} = 4,92; 2,63; 2,45; 1,48; 1,45; 9,8; [\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ и } \text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}] \text{ и } d, \cdot 10^{-10} = 3,87; 3,04; 2,05; 1,92 [\text{CaCO}_3]$ . Содержание  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  устанавливается по линиям  $d, \cdot 10^{-10} = 2,77; 2,18; 1,97$ .

На термограмме образца пенобетона (дифференциальном термическом анализаторе DTG-60, SHIMADZU) симметричность пиков однородна на всех участках кривых DSC и DTG, что характеризует однородность состава образца. Интегральная общая потеря массы составляет 10,65%.

### Заключение

Применение высокодисперсной золы обеспечивает прочность на сжатие, намного превышающую прочность обычных пенобетонов, а низкая проницаемость и повышенная плотность межпоровых перегородок в пенобетоне обеспечивает повышенную его морозостойкость. Применение золы гидроудаления в качестве высокодисперсной минеральной добавки в пенобетоне позволяет экономить от 10 до 15% цемента.

Физико-технические свойства пенобетона показали, что марка пенобетона по средней плотности – D700; средняя теплопроводность  $\lambda_{\text{пен}} = 0,183 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; паропроницаемость –  $0,17 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ ; сорбционная влажность – не более 7–9% при относительной влажности 75%, класс по прочности на сжатие – В35, марка по морозостойкости – от F30.

Оптимальное содержание высокодисперсной золы гидроудаления составляет 10%, т.к. дальнейшее увеличение является нецелесообразным вследствие того, что снижаются прочностные показатели пенобетона (более чем на 5%), а теплопроводность уменьшается на 3%. Использование пенобетона на композиционном вяжущем с содержанием высокодисперсных частиц золы гидроудаления позволяет экономить цемент от 10 до 15% без снижения прочностных характеристик ячеистых бетонов и улучшать теплофизические свойства до 10%.

В сравнении с прочностью ячеистого бетона в 28-суточном возрасте прочность неавтоклавного пенобетона через 2 месяца твердения увеличивается в 1,4 раза, по истечении года прочность увеличилась более чем в 2 раза. Исследования теплопроводности показали, что она на протяжении такого же

времени осталась в средних пределах от 0,283 до 0,293 Вт/(м·К).

### Библиографический список

1. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства / Б.В. Гусев [и др.]. – М. : Научный мир, 2006. – 560 с.
2. Влияние минерального состава и пористой структуры межпоровых перегородок на теплопроводность пенобетона / И.Н. Кузнецова, О.А. Кузнецов, А.Ф. Косач, М.А. Ращупкина // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 6. – С. 24–27.
3. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения : учебное пособие / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. – М., 2007. – 125 с.
4. Ахведов, И.Н. Основы физики бетона : учебник для вузов / И.Н. Ахведов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
5. Шмитько, Е.И. Химия цемента и вяжущих веществ : учебное пособие / Е.И. Шмитько, А.В. Крылова, В.В. Шаталова. – СПб. : Проспект Науки, 2006. – 206 с.
6. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин ; под ред. : Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересм. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
7. Гусев, Б.В. Прочность полидисперсного композиционного материала, типа цементного бетона и особенности напряженно-деформированного состояния такого материала при действии сжимающих нагрузок / Б.В. Гусев. – М. : ЦИИИ, 2003. – 37 с.
8. Кузнецова, И.Н. Технология пенобетона на основе торфа / И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина, С.В. Жуков // Вестник СибАДИ. – 2014. – № 4 (38). – С. 72–77.
9. Влияние основных минералов цементного камня на его структуру и свойства / И.Н. Кузнецова, А.Ф. Косач, М.А. Ращупкина, Н.А. Гутарева // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 8 (680). – С. 25–33.

### TECHNOLOGY OF FOAM CONCRETE ON COMPOSITE KNITTING WITH HYDROREMOVAL ASHES

I.N. Kuznetsova, M.A. Raschupkina

**Abstract.** In this article an attempt to provide an advanced method of production of foam concrete is made. The advanced production technology of foam concrete on composite knitting with content of the high-disperse particles of ashes of hydroremoval received by crushing of particles of ashes allows to make constructional and heat-insulating material, using production wastes TEC. The received results of heatphysical and mechanical properties of ashes as high-disperse additive and foam concrete samples are provided and proved.

**Keywords:** foam concrete, ashes, production technology of foam concrete, property.

### References

1. Gusev, B. V. Formation of structure of composite materials and their properties / B. V. Gusev, V. I. Kondrashchenko, B. P. Maslov, A.S. Fayvusovich. – M.: Scientific world, 2006. – 560 p.
2. Kuznetsova, I.N. Influence of mineral structure and porous Structures betweenporous partitions on thermal conductivity cellular concrete / I.N. Kuznetsova, O. A. Kuznetsov, A.F. Kosach, M. A Rashchupkina // News of higher education institutions. Construction. – 2010. – № 6. – Pp. 24-27.
3. Baloyan, B. M. *Nanomaterialy. Classification, features of properties, application and technologies of receiving.* Moscow, 2007. – 125 p.
4. Akhvedov, I.N. Fundamentals of physics the concrete / I.N. Akhvedov: Textbook for higher education institutions – M.: Stroyizdat, 1981. – 464 p.
5. Shmitko, E.I. Himiya of cement and the knitting substances / E.I. Shmitko, A.V. Krylov, V. V. Shatalov. SPb., 2006. – 206 p.
6. Fokin, K.F. *Stroitel'naya of the heating engineer of the protecting parts of buildings / Under the editorship of Yu.A. Tabunshchikov, V. G. Gagarin, the 5th prod.* Moscow, AVOK-PRESS, 2006, 256 p.
7. Gusev, B. V. *Prochnost of polydisperse composite material, like cement concrete and feature of the intense deformed condition of such material at action of the squeezing loadings.* Moscow, TsISN, 2003, 37 p.
8. Kuznetsova, I.N. Technology of foamed concrete on the basis of peat / I.N. Kuznetsova, M.A. Raschupkina, S.V. Zhukov // Vestnik SIBADI. –2014. – № 4 (38). – Pp. 72–77.
9. Kuznetsova, I.N. Influence of the main minerals of a cement stone on its structure and properties / I.N. Kuznetsova, M.A. Rashchupkin, A.F. Kosach, N.A.Gutareva // News of higher education institutions. Construction. – 2015. – №. 8 (680). – Pp. 25–33.

*Кузнецова Ирина Николаевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительные конструкции Сибирской автомобильно-дорожной академии "СибАДИ" (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: inkuzntcova@mail.ru).*

*Ращупкина Марина Алексеевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительные материалы и специальные технологии Сибирской автомобильно-дорожной академии "СибАДИ" (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: manana2003@yandex.ru).*

*Kuznetsova Irina Nikolaevna (Russian Federation, Omsk) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of Building structures, State Automobile and Highway Academy "SibADI", Omsk, Russia (644080, Russia, Omsk, Mira ave., 5, e-mail: inkuzntcova@mail.ru).*

*Raschupkina Marina Alekseevna (Russian Federation, Omsk) - Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of Building structures, State Automobile and Highway Academy "SibADI", Omsk, Russia (644080, Russia, Omsk, Mira av., 5, e-mail: manana2003@yandex.ru).*

УДК 625.7

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОЙ НАСЫПИ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

Лунёв А.А.<sup>1</sup>, Сиротюк В.В.<sup>1</sup>, Безделов Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;  
<sup>2</sup>АО «Институт Гипростроймост», г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность использования программных комплексов, в основе которых заложен метод конечных элементов (ZSoil, Plaxis, GEO5 FEM), для оценки устойчивости откосных частей насыпей автомобильных дорог из золошлаковой смеси. В работе приводятся результаты численного моделирования и оценки устойчивости откосной части насыпи автомобильной дороги 1В категории высотой 15 м из золошлаковой смеси Каширской ГРЭС-4. И их сравнение с результатами оценки общей устойчивости этих же конструкций по широко применяемым в практике строительства методам предельного равновесия (Bishop, Fellenius, Шахуняни).

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, метод снижения прочности, оценка устойчивости откосов, золошлаковые смеси.

### Введение

В последнее время на территории Российской Федерации началась реализация

пилотных проектов транспортных сооружений, земляное полотно которых выполнено из золошлаковых смесей [1].

Согласно СП 34.13330.2012 [2] этот техногенный грунт относится к категории особых и применение его в каждом конкретном случае должно обосновываться путем выполнения соответствующих расчетов.

Наиболее распространенные виды деформаций земляного полотна автомобильных дорог - это сдвиги, формирующиеся при потере общей устойчивости откосных частей насыпей и выемок. Поэтому при строительстве каждого подобного объекта из золошлака, требуется выполнение комплексной оценки устойчивости откосных частей насыпей [3].

В современной практике проектирования транспортных сооружений для оценки устойчивости обычно используют методы предельного равновесия, такие как метод Бишопа, Шахунянца, Маслова-Берера, Терцаги-Крея, Гульдена, Сарма, Ямбу, Спенсера, Моргенштерна-Прайса и т.д. В основе всех этих методов лежит определение сдвигающих и удерживающих усилий и не

учитывается напряженно-деформированное состояние основания насыпи, которое возникает в результате возведения земляного полотна [4, 5].

В то же время в практике проектирования инженерных сооружений широкое распространение получают программные комплексы, реализующие методы численного моделирования (ABAQUS, ANSYS, ПК Лиры, Elcut, Plaxis, Phase2, FLAC, ZSoil, GEO-5 и т.д.) и лишенные этого недостатка. Большинство этих программ базируется на методе конечных элементов (МКЭ) и активно применяются при решении задач инженерной геотехники и проектирования.

Использование этих современных инструментов позволяет решать широкий круг геотехнических задач (рис.1) и получать результаты высокой точности и степени соответствия реальным условиям. Но, к сожалению, до сих пор эти программные комплексы не заняли достойного места при проектировании насыпей автомобильных дорог.

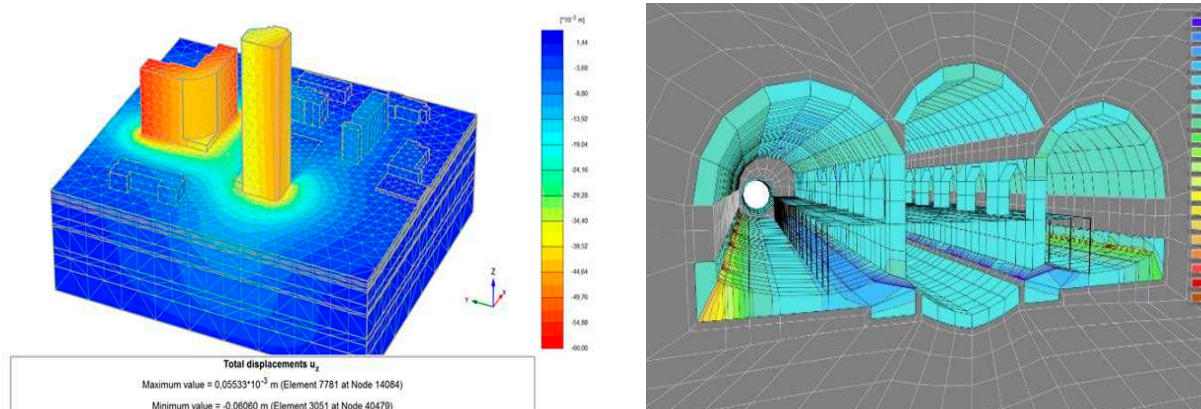


Рис. 1. Примеры геотехнических расчетов, выполненных методом конечных элементов: слева – расчет осадок основания зданий; справа – модель станции метро

### Моделирование конструкций из золошлаковых смесей с использованием программных комплексов реализующих метод конечных элементов

Для решения задачи был выполнен анализ устойчивости откосов с использованием программных комплексов (ZSoil, Plaxis, GEO5 FEM) и сравнение полученных результатов с традиционными методами предельного равновесия.

В качестве примера были рассмотрены конструкции земляного полотна с применением золошлаковых смесей из отвала Каширской ГРЭС, использованные

при строительстве первой в России транспортной развязки на автомобильной дороге 1В категории с высотой насыпи до 15 м при пересечении в разных уровнях железнодорожных путей на 87 км перегона Михнево - Жилево Московской железной дороги в Ступинском районе, вблизи д. Жилево, сданной в эксплуатацию в январе 2016 года.

Для моделирования конструкции "Насыпь+Основание" были использованы упругопластические модели Мора-Кулона (Plaxis, ZSoil, GEO 5 FEM) и Друкера-Прагера (ZSoil, GEO 5 FEM), которые включают пять

основных параметров грунта: модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , угол внутреннего трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $c$  и угол дилатансии  $\psi$ . И два параметра удельного веса грунта: в насыщенном водой

состоянии  $\gamma_{sat}$  и ненасыщенном  $\gamma_{unsat}$  [6]. Различия в представленных моделях имеются только в форме поверхности текучести и представлены в таблице 1 [7].

Таблица 1 – Различие в упругопластических моделях

Название	Уравнение характеризующее поверхность текучести
Модель Кулона-Мора	$\Phi_{MC}(\sigma, c) = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) + (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \sin \varphi - 2c \cos \varphi = 0$
	где $\sigma_{max}, \sigma_{min}$ - наибольшее и наименьшее главное напряжение; $c, \varphi$ - удельное сцепление и угол внутреннего трения;
Модель Друкера-Прагера	$\Phi_{DP}(\sigma, c) = \sqrt{3J_2} + \eta I_1 - \xi c$ $\eta = \frac{6 \sin \varphi}{\sqrt{3}(3 \pm \sin \varphi)}; \xi = \frac{6 \cos \varphi}{\sqrt{3}(3 \pm \sin \varphi)}$
	где: $I_1$ - первый инвариант тензора напряжений; $J_2$ - второй инвариант девиатора напряжений;

Так как в процессе инженерно-геологических изысканий угол дилатансии не был определен, он вычислялся по эмпирической зависимости [8]:

$$\psi = \varphi - 30^\circ \quad (1)$$

Параметры грунтов для создания модели были получены по результатам инженерно-геологических изысканий на площадке строительства и исследовании проб золошлака с четвертой секции золоотвала Каширской ГРЭС-4, выполненных лабораторией "Мосгеотрест". Расчетные параметры для рассматриваемых моделей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры грунтов

№ слоя	Название грунта	$\gamma_{unsat},$ кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{sat},$ кН/м <sup>3</sup>	$E,$ МПа	$\nu$	$c,$ кПа	$\varphi, ^\circ$	$\psi, ^\circ$	Тип материала
1	ЗШС Каширской ГРЭС-4	14,32	18,05	27,0	0,35	22	31,7	1,7	дренированный
2	Глина тугопластичная	15,4	19,52	9,5	0,36	43	16,9	0	недренированный
3	Суглинок тугопластичный	16,78	19,52	60,0	0,36	29	18,5	0	недренированный
4	Песок мелкий	16,48	20,21	84,0	0,28	2	31,6	1,6	дренированный
5	Глина полутвердая	11,72	12,04	42,0	0,25	51	15,2	0	недренированный

Численный анализ устойчивости насыпи был выполнен поочередно в программных комплексах Plaxis 2D, ZSoil, Geo 5 FEM.

Расчетная схема моделируемой насыпи изображена на рисунке 2.

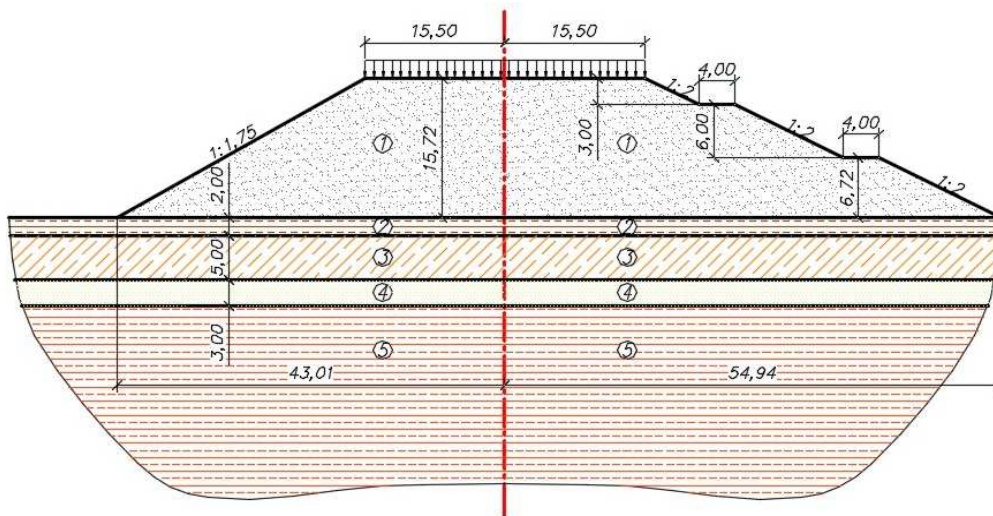


Рис. 2. Расчетные схемы. 1-5 – номера грунтов соответствуют таблице 2

Построенная модель так же включала в себя расчетную нагрузку, распределенную в соответствии с ГОСТ Р 52748–2007 [9], после чего был выполнен численный анализ устойчивости откосов насыпи по методу снижения прочности.

Метод снижения прочности (SRM – shear reduction method). Как и в представленных методах предельного равновесия, оценка устойчивости ведется на основе коэффициента устойчивости, однако для данного метода он определяется по формуле согласно теории прочности Кулона-Мора [6]:

$$K_3 = \frac{\sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi' + c'}{\sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_r + c_r}, \quad (2)$$

где:  $c'$  и  $\varphi'$  – исходные параметры;  
 $\sigma_n$  – фактическое нормальное напряжение;  
 $c_r$  – параметры прочности, сниженные в ходе расчета до минимальных значений, достаточных для поддержания равновесия.

Прогноз разрушения осуществляется путем одновременного понижения обоих показателей сдвиговой прочности:

$$c_r = \frac{c}{K_3}, \quad \varphi_r = \frac{\varphi}{K_3}, \quad (3, 4)$$

где:  $K_3$  – коэффициент снижения прочности, соответствующий коэффициенту устойчивости в момент разрушения.

Анализ устойчивости проводился для двух конструкций земляного полотна: это конструкция с бермами, изображенная с правой стороны рисунка 2 и с однородным откосом заложения 1:1,75, изображенная на рисунке 2 слева. В ходе расчета применялся расчет без применения изменяемой сетки Лагранжа.

Моделирование в программе Plaxis 2D производилось с использованием опции “stage construction” позволяющей задавать промежутки времени возведения каждого отдельного кластера насыпи, что более точно позволяет оценить процессы консолидации основания и устойчивость конструкции на всех этапах строительства. Графические результаты моделирования конструкции в программном комплексе Plaxis 2D представлены на рисунке 3. Результаты определения коэффициента устойчивости откосной части рассматриваемой насыпи сведены в таблицу 4.

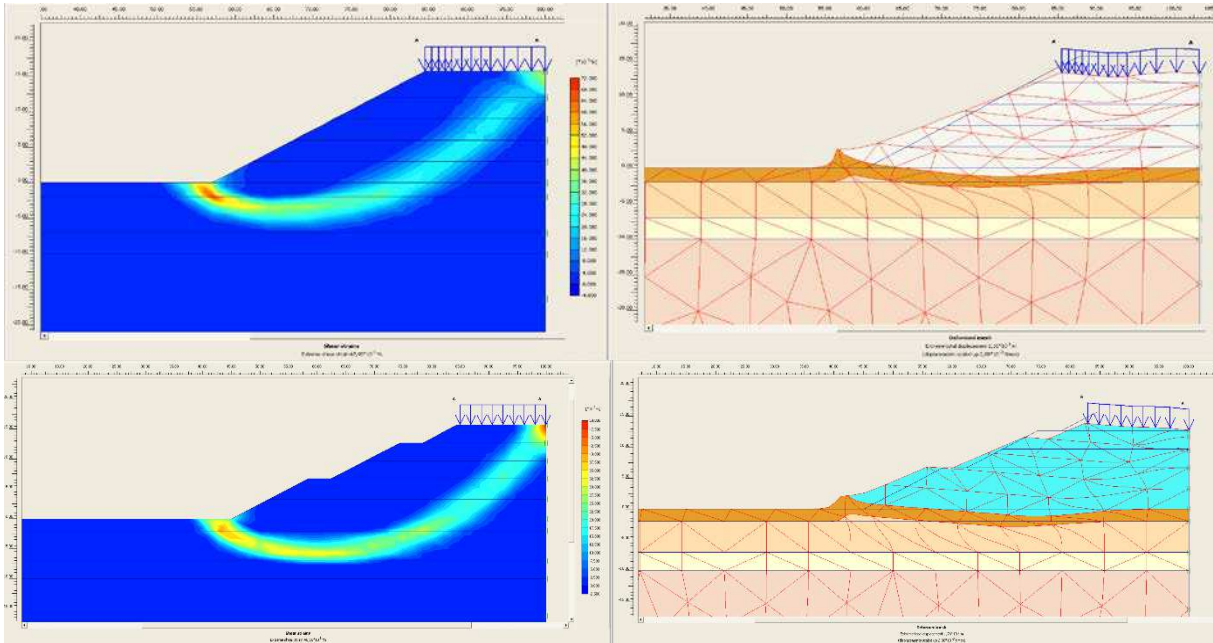


Рис. 3. Результаты моделирования конструкций в программном комплексе Plaxis 2D  
слева – изополя сдвигающих перемещений; справа – деформированная сетка конечных элементов

Оценка устойчивости насыпи в программном комплексе ZSoil выполнялась с использованием двух моделей грунта Мора-Кулона и Друкера-Прагера, являющейся более гладкой аппроксимацией его поверхности текучести. Для оценки устойчивости использовался тот же SMR метод, что и в программе Plaxis [10], графические результаты расчета представлены на рисунке 4. Результаты определения коэффициентов устойчивости сведены в таблицу 4.

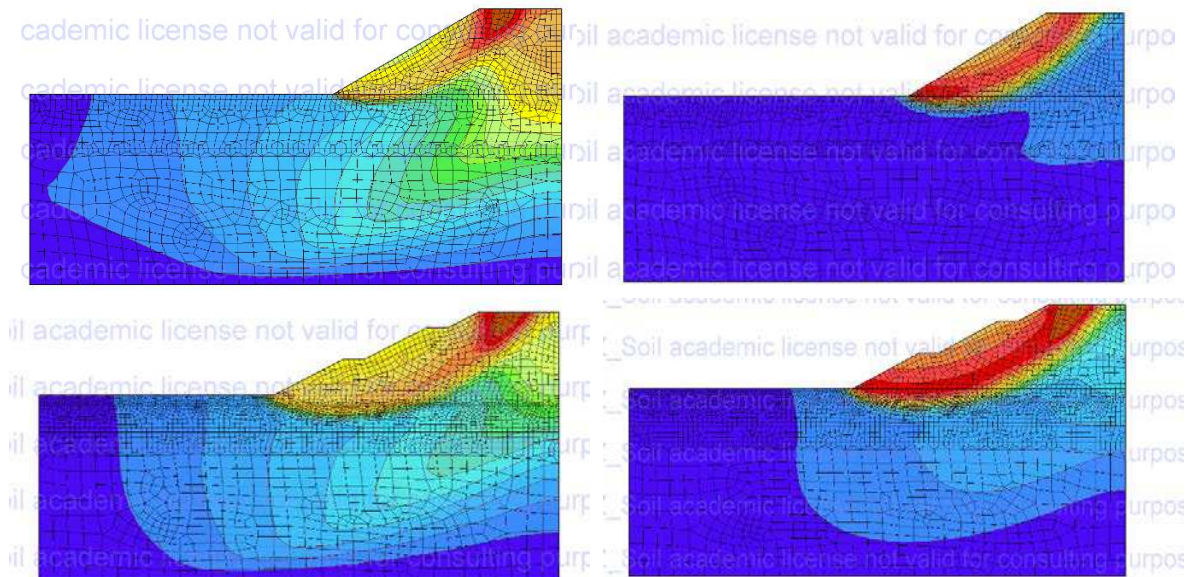


Рис. 4. Результаты моделирования конструкций в программном комплексе ZSoil  
слева – изополя общих перемещений в модели Кулона-Мора; справа – изополя общих перемещений  
в модели Друкера-Прагера

Использование программного комплекса GEO-5 FEM также позволило оценить устойчивость откосных частей насыпи из золошлаковой смеси на основе двух моделей (Кулона-Мора, Друкера-Прагера). Из-за невозможности получить изополе сдвигающих

или общих перемещений, в графическом виде представлены наложения изополей перемещения по осям x и z, которые представлены на рисунке 5. Данные о коэффициентах устойчивости приведены в таблице 4.

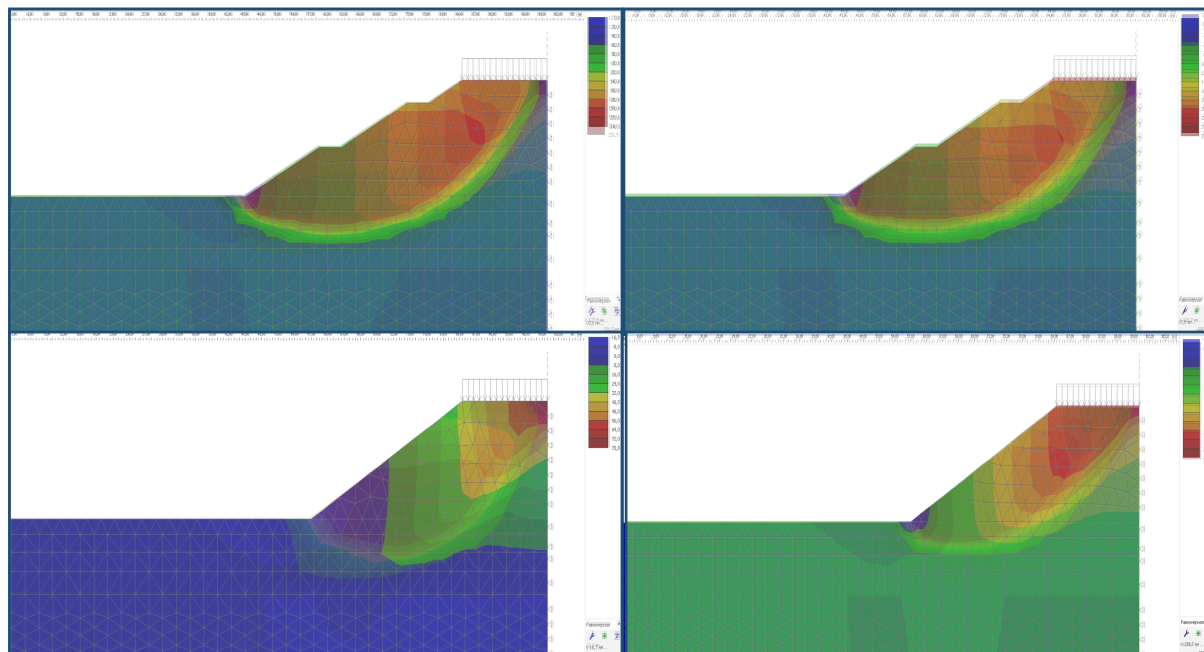


Рис. 5. Результаты моделирования конструкций в программном комплексе GEO5 FEM слева – изополя общих перемещений в модели Кулона-Мора; справа – изополя общих перемещений в модели Друкера-Прагера

Таблица 3 – Используемые методы предельного равновесия

Название	Формула коэффициента устойчивости
Метод Bishop (Бишопа)	$K_3 = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}}$
	<p>где <math>u_i</math> – пласовое давление в блоке;  <math>c_i, \varphi_i</math> – действительные значения параметров грунта;  <math>W_i</math> – вес блока;  <math>\alpha_i</math> – угол наклона сегмента поверхности скольжения;  <math>b_i</math> – ширина блока (в горизонтальной плоскости).</p>
Метод Fellenius/Petterson	$K_3 = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \tan \varphi_i]$ <p>где <math>N_i</math> – нормальная сила на сегмент поверхности скольжения;</p>
Метод Г.М. Шахунянца	$K_3 = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_{N_i} - U_i) \tan \varphi_i + c_i \cdot l_i +  P_{Q_i,ud} ] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^n P_{Q_i,sd} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}$ <p>где: <math>P_{Q_i,sd}</math> – активные силы, способствующие сползанию,  <math>P_{Q_i,ud}</math> – силы, удерживающие сползание блока</p>

Таблица 4 – Результаты комплексной оценки устойчивости

Высота насыпи и заложение откоса	Величина коэффициента запаса							
	Bishop	Fellinius	Шахунянец	Plaxis	ZSoil		GEO 5 FEM	
				M-K	M-K	D-P	M-K	D-P
15,72 (1:1.75)	1,94	1,70	1,76	1,69	1,72	1,72	1,88	2,06
15,72 (бермы)	2,31	2,05	2,06	1,98	2,10	1,95	2,26	2,48

### Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- поверхности скольжения, полученные в ходе моделирования близки к круглоцилиндрическим, даже при сложной конфигурации насыпей;

- значения коэффициентов безопасности, определенные в программах Plaxis и ZSoil, сопоставимы с данными, полученными методами предельного равновесия;

- результаты моделирования в программе GEO 5 FEM, существенно отличаются от данных полученных в прочих комплексах, реализующих МКЭ;

- коэффициенты, полученные в разных программных комплексах, имеют некоторые отличия, несмотря на использование одинаковых параметров модели, и её конфигурации;

- не было замечено существенного влияния осадок основания на итоговые коэффициенты устойчивости;

В целом, проведенное сравнение устойчивости конструкций с различной конфигурацией по методам предельного равновесия и снижения прочности показали, что методы предельного равновесия, которые можно считать проверенными временем, не имеют большого расхождения с расчетами по методу снижения прочности. А, следовательно, их применение для проектирования насыпей автомобильных дорог является целесообразным.

К минусам программных продуктов, реализующих метод конечных элементов следует отнести:

- высокую сложность самостоятельного освоения программных комплексов в связи с отсутствием русскоязычного интерфейса и малым количеством литературы, описывающей принципы расчетов и алгоритмы построения моделей;

- более высокую стоимость этих программных комплексов, чем программ, реализующих более простые методы предельного равновесия;

Однако сложность освоения программ численного моделирования и их стоимость

компенсируется гибкими возможностями моделирования и широким разнообразием элементов (анкеры, арматура, георешетки и т.д.), благодаря чему эти комплексы могут решать большинство задач, возникающих в практике проектирования транспортных сооружений.

Ограниченное количество литературы по этому вопросу накладывает ограничения на использование этих методов, но не является препятствием для обучения специалистов, ведь дистрибьюторы программных комплексов проводят постоянные курсы и обучающие семинары.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-48-550508 p\_a).**

**Научные исследования по теме «Сопоставление методов оценки устойчивости высокой насыпи из золошлаковой смеси» выполнены за счет средств бюджета Омской области.**

### Библиографический список

1. Сиротюк, В.В. Золошлаковая смесь для земляного полотна / В.В. Сиротюк, А.А. Лунев, Е.В. Иванов // Автомобильные дороги. – 2016. – № 6 (1015). – С. 72–79.
2. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85. – Введ. 2013-07-01. – М.: Госстрой России, 2013. – 98 с.
3. Сиротюк, В.В. Обоснование устойчивости откосов высоких насыпей из золошлаковых смесей / В.В. Сиротюк, А.А. Лунев, Е.В. Иванов, Г.М. Левашов // Техника и технологии строительства [Электронный ресурс]. – Омск: СибАДИ, 2016. – Вып. 1 (5). – С. 76–82. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd133.pdf> (дата обращения к ресурсу: 25.05.2016).
4. ВСН 04-71. Указания по расчету устойчивости земляных откосов [Электронный ресурс] / Минэнерго СССР. – 2-е изд. – Введ. 1971-11-01 // ИСС «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». – Версия 6.4.0.200.
5. ОДМ 218.2.027–2012. Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах [Электронный ресурс]. – Введ. 2012-30-11 // ИСС «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». – Версия 6.4.0.200.



6. Федоренко, Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик / Е.В. Федоренко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 6 (49). – С. 24–26.

7. Строкова, Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов : учебное пособие / Л.А. Строкова ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.

8. Строкова, Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов [Электронный ресурс] // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 313. № 1. – Режим доступа: <http://izvestiya.tpu.ru/ru/archive/old/article.html?id=188044&journalId=176237> (дата обращения к ресурсу: 26.05.2016).

9. ГОСТ Р 52748–2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения [Электронный ресурс]. – Введ. 2008-01-01 // ИСС «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». – Версия 6.4.0.200.

10. ZSoil. PC 2012 manual / [A. Truty и др.] ; Zace Services Ltd, Software engineering. – Lausanne, Switzerland. : Elmepress International. – 2013. – 181.

### COMPARISON OF METHODS FOR EVALUATING OF SLOPE STABILITY ON HIGH EMBANKMENT BUILT WITH THE USE OF BOTTOM ASH

A.A. Lunev<sup>1</sup> V.V. Sirotyuk<sup>1</sup> N.S. Bezdlov<sup>2</sup>

**Abstract.** The article discusses the possibility of using the element complexes, which laid the basis for the finite element method (ZSoil, Plaxis, GEO5 FEM), to evaluate the stability of the sloping parts of embankments roads built with the use of bottom ash. The paper presents the results of numerical simulation and assessment of the stability of the sloping part of the road embankment on the 1B category highway with a height of 15 m built with the use of bottom ash from Kashira's TPP-4. In conclusion, it was a comparison with the results of assessment of the overall sustainability of the same constructions for widely used in the practice of construction techniques limit equilibrium (Bishop, Fellenius, Shahunyan's).

**Keywords:** finite element method, shear reduction method, evaluation of slope stability, coal ash and slag mixtures.

### References

1. Sirotyuk, V. V. Ash-and-slag mixture for subgrade / V. V. Sirotyuk, A. A Lunev, E. V. Ivanov // the road. – 2016. – № 6 (1015). – P. 72-79.

2. SP 34.13330.2012. Road. The updated edition of SNiP 2.05.02-85–]. 2013-07-01. - M. : Gosstroy Of Russia, 2013. – 98 p.

3. Sirotyuk, V.V. Substantiation of stability of slopes of high embankments of slag mixtures [Electronic resource] / V.V. Sirotyuk, A.A. Lunev, E.V. Ivanov, G. M. Levashov // techniques and

technologies of construction / SibADI - Omsk : SibADI, 2016 - Vol. 1 (5). - S. 76-82. – Mode of access : <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd133.pdf>. - Date of access : 25.05.2016 G.

4. BCH 04-71. Guidance on calculation of stability of earth slopes [Electronic resource] / USSR Ministry of energy. - 2nd ed-E. – Entered 1971-11-01// ISS "techexpert" / ZAO "Kodeks". Version 6.4.0.200.

5. ODM 218.2.027–2012. Methodical recommendations on calculation and design of Armagrandi under-pornih walls on highways [Electronic resource]. – Introduced 2012-30-11 // ISS "techexpert" / ZAO "Kodeks". Version 6.4.0.200.

6. Fedorenko, E.V. the Method of calculation of stability by reducing the strength characteristics / E.V. Fedorenko // Transport of the Russian Federation. - 2013. - № 6 (49) - S. 24-26.

7. Strokov, L.A. Use of the finite element method in soil mechanics : study guide / L.A. Strokov ; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2010. – 143 p.

8. Strokov, L.A. Definition of parameters for numerical simulation of behavior of soils [Electronic resource] // news of TPU. - 2008. Vol 313, No. 1. – Mode of access : <http://izvestiya.tpu.ru/ru/archive/old/article.html?id=188044&journalId=176237>. – Date of access: 26.05.2016 G.

9. ГОСТ R 52748-2007. Highway. Regulatory burden, raschetnye circuit loading and dimensions of the approximation. [Electronic resource]. – Introduced 2008-01-01 // ISS "Tekheks-Perth" / ZAO "Kodeks". Version 6.4.0.200.

10. ZSoil. PC 2012 manual / [A. Truty и др.] ; Zace Services Ltd, Software engineering. – Lausanne, Switzerland. : Elmepress International. – 2013. – 181.

*Сиротюк Виктор Владимирович (Россия, Омск) – доктор техн. наук, профессор кафедры проектирование дорог ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sirvv@ya.ru).*

*Лунев Александр Александрович (Россия, Омск) – аспирант кафедры проектирование дорог ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: lunev.al.al@gmail.com).*

*Безделов Никита Сергеевич (Россия, Омск) – магистрант кафедры проектирование дорог ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: bezdelov89@mail.ru).*

*Sirotyuk Victor Vladimirovich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department roads design, Head of the Department of roads design, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail: sirvv@ya.ru).*

Lunev Aleksandr Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – Postgraduate student of Department roads design, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail lunev.al.al@gmail.com).

Bezdelov Nikita Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Graduate student of Department roads design, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail bezdelov89@mail.ru).

УДК 624.016:624.21

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО БАЛОЧНОГО МОСТА

Ю.В. Немировский, А.И. Болтаев

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

**Аннотация.** В работе представлен общий подход к расчёту балочных пролётных строений деревожелезобетонного моста с учётом физической нелинейности и разносопротивляемости, а также реальных условий нагружения. В общем случае предполагается, что как бетонная часть, так и деревянная, представляют собой слоистые подконструкции, выполненные из различных видов бетона и пород древесины. Предложен безитерационный метод решения разрешающей системы нелинейных уравнений, который обладает существенными преимуществами по сравнению с итерационными методами. Приведены примеры расчётов, показывающие возможность значительного увеличения, как прочности, так и жёсткости конструкции за счёт комбинирования различных пород древесины в сечении. Показана важная особенность работы слоистых конструкций под нагрузкой, а именно, возможность возникновения скрытых форм разрушения, когда начальное разрушение возникает во внутренних слоях поперечного сечения.

**Ключевые слова:** деревожелезобетонные балочные мосты, физическая нелинейность, слоистые конструкции, предельные деформации.

**Введение.** Практика отечественного и зарубежного мостостроения показывает необходимость развития принципиально разных подходов при разработке проектов для различных регионов. В регионах, имеющих освоенные промышленно-хозяйственные территории, и нуждающихся в интенсивном росте зон индустриализации с возникающими при этом трудно прогнозируемыми потоками транспортных средств, проектирование мостовых сооружений должно опираться на традиционные и оригинальные решения для стальных, железобетонных и сталебетонных мостов. Применительно же к малоосвоенным, труднодоступным регионам с резким изменением климатических условий, наличием слабых грунтовых оснований и трудно прогнозируемыми потоками транспортных средств, создание автодорожных мостовых сооружений длительного пользования требует разработки иных подходов. Основной упор здесь должен быть сделан на использование местных или близко доступных сырьевых ресурсов и сборно-разборных элементов, позволяющих производить монтаж сооружения на местной стройплощадке. При этом современные технологические приёмы позволяют достаточно

надёжно соединять в цельную единую гибридную конструкцию материалы разной природы (асфальтобетоны, полимербетоны, металлы, дерево различных пород). Вопрос заключается в подборе параметров геометрии и свойств материалов, которые обеспечивали бы наиболее эффективные конструкции с точки зрения эксплуатационных и экономических требований.

В последнее время за рубежом и в нашей стране уделяют много внимания анализу работы и эффективности практического использования комбинированных деревожелезобетонных мостовых сооружений [1-5]. В качестве основных достоинств таких комбинированных конструкций отмечают: наличие практически неограниченных сырьевых ресурсов, простота и гибкость технологической обработки составляющих элементов, низкая стоимость материалов, активное уравнивание взаимных достоинств и недостатков материалов при эксплуатации. Так, например, бетон плохо работает на растяжение, хорошо на сжатие и имеет большой удельный вес, клеевая древесина хорошо работает на растяжение, хуже - на сжатие и имеет малый удельный вес. В монографии [1] собран и проанализирован

большой экспериментальный и теоретический материал по проверке эксплуатационных качеств деревожелезобетонных мостов и их моделей. Отмечается необходимость совершенствования методик расчёта деревожелезобетонных мостовых конструкций при максимальном учёте реальных свойств составляющих материалов и реальных условий эксплуатации.

В данной статье разработан общий подход к расчёту балочных пролётных строений моста при учёте реальных условий нагружения. В общем случае предполагается, что как бетонная часть, так и деревянная, представляют из себя слоистые подконструкции. Так, считается, что бетонная часть содержит в себе слои асфальтобетона, полимербетона, керамзитобетона. Деревянная часть является слоистой конструкцией из разных пород древесины с определенными законами профилирования в сечении. Такой подход позволяет управлять напряженно-деформированным состоянием в мостовой

конструкции и решать задачи оптимального расхода материалов.

**Расчётная схема пролётного строения моста**

Наиболее распространённой и простой конструкцией пролётного строения является балочная: с балками из древесины и уложенной по верх них железобетонной плитой. Для расчёта выделяем отдельную балку и совместно работающий с ней участок плиты, её расчётная схема представляет собой однопролётную балку с шарнирными опорами (рис.1). Прямоугольную систему координат балки  $\zeta\beta\eta$  располагаем следующим образом: ось  $\eta$  - ось симметрии поперечного сечения балки, ось  $\zeta$  совпадает с продольной осью балки и находится на расстоянии  $h_0 = (h_1 + h_2)$  от верхнего края сечения (рис. 2) ось  $\beta$  задаётся таким образом, чтобы система координат  $\zeta\beta\eta$  являлась левой.

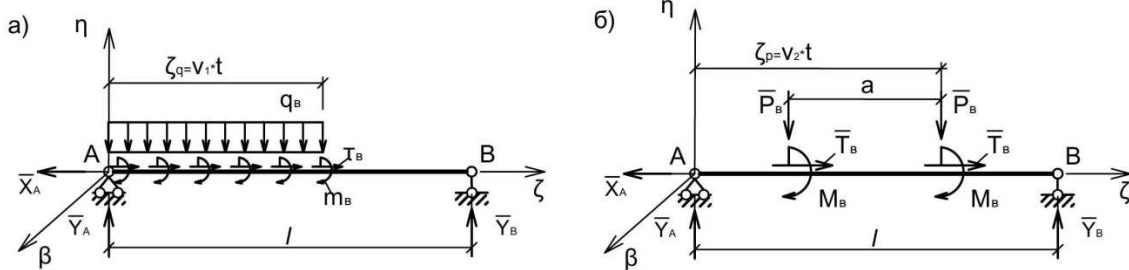


Рис. 1. Расчётная схема балки: а) временная нагрузка № 1; б) временная нагрузка № 2

Нагрузка, действующая на балку, складывается из постоянной и временной частей. Постоянная нагрузка от собственного веса несущих конструкций и дорожного покрытия представлена в виде вертикальной, равномерно распределённой по длине всего пролёта с интенсивностью  $q_{п}$  (на рис.1 постоянная нагрузка условно не показана). Временная нагрузка моделирует движение автотранспорта по мосту и имеет два вида: 1 - в виде равномерно распределённой вертикальной нагрузки интенсивностью  $q_B$ , фронт которой движется со скоростью  $v_1$  (рис.1 а); 2 - в виде двух сосредоточенных вертикальных сил  $P_B$ , движущихся со скоростью  $v_2$  (рис. 1 б).

Первая временная нагрузка моделирует движение непрерывной колонны машин, вторая - движение двух большегрузов. Тормозная нагрузка возникает в месте соприкосновения колёс машин с поверхностью покрытия моста. Для временной нагрузки № 1 она представлена продольной равномерно распределённой

нагрузкой интенсивностью  $\tau_B = 0,5q_B$  [6], для временной нагрузки № 2 в виде продольной сосредоточенной силы  $T_B = 0,5P_B$ . Так как ось  $\zeta$  лежит ниже уровня покрытия моста, то тормозная нагрузка, при приведении её к оси балки (совпадающей с осью  $\zeta$ ), создаёт дополнительный изгибающий момент интенсивностью  $m_B = \tau_B h_0$  для первого вида нагрузки и  $M_B = T_B h_0$  для второго вида нагрузки. Здесь  $h_0$  - расстояние по вертикали от поверхности покрытия моста до оси  $\zeta$ .

В начальный момент  $t = 0$  машины на мосту отсутствуют, и он находится только под действием постоянной нагрузки. При  $t > 0$  происходит движение машин по мосту. Движение временной нагрузки №1 будем рассматривать до момента времени  $t_1$ , пока она не накроет всю балку. Движение временной нагрузки №2 состоит из трёх периодов:  $t \in (0; t_2)$  - от момента, когда на мост въезжает первый большегруз, до момента, когда въезжает второй;  $t \in (t_2; t_3)$  - от момента, когда въезжает второй большегруз, до момента, когда мост покинет

первый большегруз;  $t \in (t_3; t_4)$  - от момента, когда мост покинет первый большегруз, до момента, когда мост покинет второй большегруз. Временные интервалы  $t_i$  равны:

$$t_1 = l/v_1, t_2 = a/v_2, t_3 = l/v_2, \text{ и } t_4 = (l + a)/v_2.$$

Поперечное сечение балки пролётногo строения моста неизменно по длине и дано на рисунке 2.

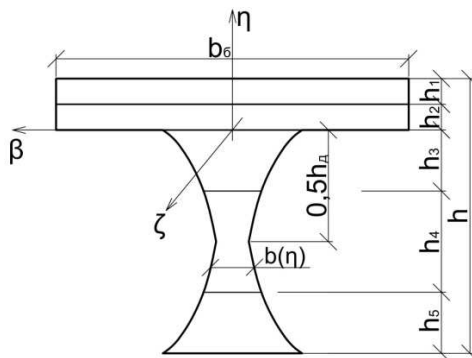


Рис. 2. Поперечное сечение балки пролётногo строения

Отсчёт слоёв идёт сверху вниз. Железобетонная плита состоит из двух слоёв: верхнего, с толщиной  $h_1$ , и нижнего, с толщиной  $h_2$ . Деревянная клееная балка состоит из трёх профилированных брусев общей толщиной  $h_d = (h_3 + h_4 + h_5)$ , изготовленных из различных пород древесины. Нужно отметить, что при необходимости количество слоёв в сечении можно увеличить, не внося каких либо серьёзных изменений в алгоритм расчёта. Ширина поперечного сечения деревянной балки переменна по высоте и определяется формулой:

$$b(\eta) = b_0 + b_1 f(\eta) \quad (1)$$

В качестве функции  $f(\eta)$  примем степенную зависимость вида  $f(\eta) = (\eta + 0.5h_d)^n$ , где  $n$  - произвольно задаваемый параметр. Так, при  $n = 0$  получаем прямоугольное сечение с шириной  $b = b_0 + b_1$ , при  $n = 1$  - трапециевидное сечение и так далее.

Объединение железобетонной плиты с деревянными балками возможно выполнить двумя различными методами. В первом случае совместная работа деревянных и железобетонных частей осуществляется постановкой между ними закладных деталей, которые моделируются податливыми связями. Расчёт такой составной балки, без учёта физической нелинейности и разносопротивляемости, выполнялся в работах [1,7-9]. Даже при таких упрощениях значительно усложняется математическая составляющая расчёта (по сравнению с

цельным сечением без податливых связей), кроме того возникают сложности в определении коэффициентов податливости поставленных связей. Такие связи являются концентраторами напряжений и при действии, характерной для мостовых конструкций переменной нагрузки, могут стать причиной разрушения моста вследствие постепенного накопления микрповреждений в местах постановки связей [10]. Во втором случае, объединение железобетонной и деревянной частей происходит жёстко, так, что конструкция работает как единое целое. Здесь не будем обсуждать технологических аспектов создания такого соединения, а лишь примем возможность его выполнения. Жёсткое соединение элементов сечения позволяет упростить расчёт, увеличить несущую способность и уйти от необходимости определения коэффициентов податливости. В данной работе примем жёсткое соединение железобетонной и деревянной частей балки.

Расчёт производим в квазистатической постановке, то есть пренебрегаем инерционными эффектами.

**Основные расчётные положения**

Под действием нагрузки в балке возникают внутренние усилия: продольная сила  $N$ , поперечная сила  $Q$ , а также изгибающий момент  $M_\beta$  относительно оси  $\beta$ . Для 1-го и 2-го вариантов подвижной нагрузки, на всём интервале движения транспорта они задаются соответственно формулами (2) и (3).

$$\begin{aligned}
 Y_A &= q_B \zeta_q \left(1 - \frac{\zeta_q}{2l}\right) - m_B \frac{\zeta_q}{l}, \\
 N(\zeta) &= \tau_B (\zeta_q - \zeta) \left(1 - H(\zeta - \zeta_q)\right), \\
 Q(\zeta) &= q_n \left(\frac{l}{2} - \zeta\right) + Y_A - q_B [\zeta - (\zeta - \zeta_q)H(\zeta - \zeta_q)], \\
 M_B(\zeta) &= \frac{1}{2} q_n \zeta (l - \zeta) + Y_A \zeta - \frac{1}{2} q_B [\zeta^2 - (\zeta - \zeta_q)^2 H(\zeta - \zeta_q)] + m_B [\zeta - (\zeta - \zeta_q)H(\zeta - \zeta_q)].
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 Y_A &= \frac{1}{l} [(P_B(l - \zeta_p) - M_B)(1 - H(t - t_3)) + (P_B(l - \zeta_p + a) - M_B)H(t - t_2)], \\
 N(\zeta) &= T_B [(1 - H(\zeta - \zeta_p))(1 - H(t - t_3)) + (1 - H(\zeta - \zeta_p + a))H(t - t_2)], \\
 Q(\zeta) &= q_n \left(\frac{l}{2} - \zeta\right) + Y_A - P_B [H(\zeta - \zeta_p)(1 - H(t - t_3)) + H(\zeta - \zeta_p + a)H(t - t_2)], \\
 M_B(\zeta) &= \frac{1}{2} q_n \zeta (l - \zeta) + Y_A \zeta - P_B [( \zeta - \zeta_p)H(\zeta - \zeta_p)(1 - H(t - t_3)) + \\
 &\quad + (\zeta - \zeta_p + a)H(\zeta - \zeta_p + a)H(t - t_2)] + \\
 &\quad + M_B [H(\zeta - \zeta_p)(1 - H(t - t_3)) + H(\zeta - \zeta_p + a)H(t - t_2)].
 \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь  $H(x - x_i)$  - функция Хевисайда [11],  $Y_A$  - реакция левой опорной связи от действия только подвижной нагрузки рис. 1.,  $\zeta_q$  и  $\zeta_p$  - параметры, определяющие положение подвижной нагрузки в пролёте. В формулах (2-3) присутствуют слагаемые, обусловленные тормозной нагрузкой, если эта нагрузка приводит к разгрузке пролётного строения то её можно удалить, приняв  $\tau_B = 0$  и  $T_B = 0$ .

Считаем деформации и перемещения балки малыми, принимаем гипотезу плоских сечений и приближённое уравнение кривизны плоской кривой:

$$\varepsilon(\zeta, \eta) = \varepsilon_0(\zeta) + \eta \kappa(\zeta), \quad \kappa(\zeta) = -\frac{d^2 w}{d\zeta^2}, \tag{4}$$

где  $\varepsilon_0$  - продольная деформация волокна балки при  $\eta = 0$ ,  $\kappa$  - изменение кривизны балки,  $w$  - вертикальное перемещение точек балки и  $u_0$  - горизонтальное перемещение точек балки при  $\eta = 0$ . Интегрируя соотношения (4), получим формулы для определения перемещений и углов поворота балки:

$$w(\zeta) = w^0 + \varphi^0 \zeta - \int_0^\zeta \left( \int_0^\zeta \kappa(\zeta) d\zeta \right) d\zeta, \quad \varphi(\zeta) = \varphi^0 - \int_0^\zeta \kappa(\zeta) d\zeta, \tag{5}$$

величины  $u^0, w^0$  и  $\varphi^0$  представляют собой соответственно горизонтальное и вертикальное перемещение точек балки при  $\zeta = 0$ , а также угол поворота поперечного сечения балки при  $\zeta = 0$ . Формулы (5) не учитывают влияние поперечной силы, однако, при  $h/l \ll 1$ , ошибка вносимая вследствие этого в расчёт незначительна.

Как известно, древесина и бетон обладают ярко выраженной физической нелинейностью и разнотвердостью при продольном растяжении и сжатии [12,13]. Учитывая это, для единообразного описания законов деформирования таких разных материалов была предложена кубическая аппроксимация, действительная на всём диапазоне деформирования материала [14]:

$$\sigma_i = E_{i1} \varepsilon_i + E_{i2} \varepsilon_i^2 + E_{i3} \varepsilon_i^3, \quad -\varepsilon_{is}^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{is}^+ \tag{6}$$

где  $E_{ij}$  - константы, зависящие от механических свойств  $i$ -го слоя балки,  $\varepsilon_{is}^\pm$  - предельно допустимые продольные деформации  $i$ -го слоя балки при растяжении (+) и сжатии (-). Величины  $E_{ij}, \varepsilon_{is}^\pm$  для различных пород древесины приведены в работе [15], для различных классов бетона в [16]. Методика получения коэффициентов  $E_{ij}$  для армированных слоёв бетона описана в [16]. Использование кубической зависимости (6) позволяет учитывать разнотвердостью древесины и бетона при растяжении и сжатии, а также нелинейный характер связи между напряжениями  $\sigma_i$  и деформациями  $\varepsilon_i$ .

Продольное усилие  $N$  и изгибающий момент  $M_B$  можно выразить через напряжения слоёв  $\sigma_i$  по формулам:

$$N = \sum_{i=1}^{n_{ст}} \int_{h_6 - \sum_{t=1}^i h_t}^{h_6 - \sum_{t=1}^{i-1} h_t} \sigma_i c(\eta) d\eta, \quad M_B = - \sum_{i=1}^{n_{ст}} \int_{h_6 - \sum_{t=1}^i h_t}^{h_6 - \sum_{t=1}^{i-1} h_t} \sigma_i c(\eta) \eta d\eta, \tag{7}$$

Здесь  $c(\eta)$  - функция изменения ширины поперечного сечения по высоте.

После выполнения интегрирования системы (7), с учётом зависимостей (4) и (6), получим выражения (8). Они представляют собой нелинейную систему алгебраических уравнений 3-ей степени относительно двух неизвестных  $\aleph$  и  $\varepsilon_0$ .

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^3 \aleph^k \sum_{j=k}^3 C_j^k \varepsilon_0^{j-k} \sum_{i=1}^{n_{ст}} E_{ij} d_{ik} = N, \\ \sum_{k=0}^3 \aleph^k \sum_{j=k}^3 C_j^k \varepsilon_0^{j-k} \sum_{i=1}^{n_{ст}} E_{ij} d_{i(k+1)} = -M_\beta. \end{cases} \quad (8)$$

$$d_{ik} = \int_{h_0 - \sum_{t=1}^i h_t}^{h_0 - \sum_{t=1}^{i-1} h_t} \eta^k c(\eta) d\eta, \quad C_j^k = \frac{j!}{k!(j-k)!} \quad (9)$$

Коэффициенты  $E_{i0}$  ( $i = 1 - 3$ ) в системе (8) равны нулю и введены только для того чтобы получить краткую и удобную для решения запись выражений (7). Коэффициенты  $d_{ik}$  описывают геометрию сечения. Так  $d_{i0}$  представляет собой площадь  $i$ -го слоя сечения;  $d_{i1}$  - статический момент  $i$ -го слоя относительно оси  $\beta$ ;  $d_{i2}$  - момент инерции  $i$ -го слоя относительно оси  $\beta$ ;  $d_{i3}$  и  $d_{i4}$  - моменты инерции высших порядков относительно оси  $\beta$ . Выражения для коэффициентов  $d_{ik}$  здесь не приводим из-за их громоздкости.

В качестве критерия начала разрушения примем выполнение неравенства:

$$|\varepsilon_i^{\pm(max)}| > |\varepsilon_{iк}^{\pm}|, \quad i = 1..n_{ст}. \quad (10)$$

где  $\varepsilon_i^{\pm(max)}, \varepsilon_{iк}^{\pm}$  - соответственно максимальные и предельные деформации растяжения (сжатия)  $i$ -го слоя. Устойчивость балки считаем обеспеченной.

#### Алгоритм решения задачи

Основная сложность определения напряжённо-деформированного состояния многослойной балки в физически нелинейной постановке связана с решением системы нелинейных уравнений (8). Данная система является явно выраженной относительно продольного усилия  $N$  и момента  $M_\beta$ . Из этого следует, что если известны деформации балки  $(\varepsilon_0, \aleph)$  и нужно найти внутренние усилия, то система (8) уже является решением. Однако, в подавляющем

большинстве случаев всё наоборот: известными являются внутренние усилия балки, а деформации необходимо определить. Исходя из этого, преобразуем систему (8) так, чтобы деформации были явно выражены относительно внутренних усилий. Сделать это возможно с помощью известных методов аппроксимации функций двух переменных [17]. Иначе говоря, можно свести задачу решения системы нелинейных уравнений (8) к задаче аппроксимации функции двух переменных.

В качестве аппроксимирующей функции принимаем степенной многочлен:

$$\aleph = \sum_{t=0}^{n_1} \sum_{n=0}^{n_2} a_{tn} N^t M_\beta^n, \quad \varepsilon_0 = \sum_{t=0}^{n_1} \sum_{n=0}^{n_2} b_{tn} N^t \lambda \quad (11)$$

коэффициенты  $a_{tn}, b_{tn}$  зависят от геометрии сечения, расположения слоёв и их механических характеристик (коэффициенты  $E_{ij}$ ). Однако, что важно, они не зависят от  $N$  и  $M_\beta$ . Значит при изменении функций внутренних усилий (изменении расположения подвижной нагрузки) нет необходимости заново находить  $a_{tn}$  и  $b_{tn}$ .

Алгоритм решения системы нелинейных уравнений (8):

1. Используя неравенства (10) находим область возможных значений  $\varepsilon_0 - \aleph$  и покрываем её некоторой сеткой, например, прямоугольной с постоянным шагом  $\Delta\varepsilon_0$  и  $\Delta\aleph$ ;
2. В каждом узле сетки известны значения  $\varepsilon_0$  и  $\aleph$ , подставляем их в систему (8) и находим соответствующую им пару  $N, M_\beta$ ;
3. Определяем коэффициенты  $a_{tn}, b_{tn}$  с помощью аппроксимации полученных значений  $\varepsilon_0 - \aleph - N - M_\beta$  методом наименьших квадратов, и получаем решение (8) в виде (11).

Найдя внутренние усилия из уравнений равновесия - формулы (2,3), подставляем их в (11) и тем самым определяем деформации  $\varepsilon_0$  и  $\aleph$ . По ним находим перемещения  $w, u_0$  и  $\varphi$  - формулы (5). Зная деформации, нормальные напряжения вычисляем по (6).

#### Примеры расчёта

Расчёт № 1. Будем рассчитывать пролётное строение моста на два вида загружений см. рис.1. При этом нагрузку от торможения транспорта принимаем равной нулю. Длина пролёта моста  $l=16$  м, расстояние между большегрузами  $a=4$  м. Параметры, характеризующие геометрию поперечного сечения, даны в таблице 1.

Таблица 1. Размеры поперечного сечения

$B_0, M$	$B_1, M$	$B_6, M$	$H_1, M$	$H_2, M$	$H_3, M$	$H_4, M$	$H_5, M$	$N$	$H_B, M$
0,25	1,0	1,5	0,15	0,15	0,35	0,35	0,35	2	0,4

Первый и второй слои балки выполнены из железобетона марки М250 с коэффициентом продольного армирования  $\mu = (A_s/A_b) * 100 = 1\%$ . Здесь  $A_s$  - площадь поперечного сечения продольной арматуры,  $A_b$  - площадь поперечного сечения первых двух слоёв. Класс продольной арматуры А500С. Слои 3 и 4 выполнены из сосны, слой 5 из дуба. Для первой временной нагрузки  $q_{в1} = 290 \text{ кН/м}$ , для второй  $P_{в2} = 1550 \text{ кН}$ . Удельный вес бетона принят равным  $25 \text{ кН/м}^3$ , древесины -  $6 \text{ кН/м}^3$ . Величина временной нагрузки подбиралась таковой, чтобы при её наиболее невыгодном положении конструкция была близка к предельному состоянию по условию (10).

Скорость движения временной нагрузки  $v_1 = v_2 = 5 \text{ м/с}$ .

На рис. 3-8 приведены графики, характеризующие деформированное состояние балки в моменты времени: 1 -  $t = 0.25T$ , 2 -  $t = 0.5T$ , 3 -  $t = 0.75T$ , 4 -  $t = T$ . Где  $T$  - время движения нагрузки по мосту, для первой временной нагрузки  $T = t_1$ , для второй -  $T = t_2$ . Рисунки 3-5 соответствуют первой временной нагрузке, рисунки 6-8 - второй временной нагрузке. Во всех расчётах предельно напряжёнными оказывались верхние фибровые волокна балки.

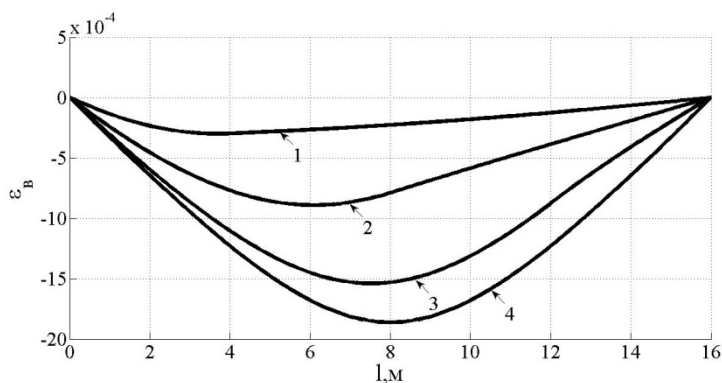


Рис. 3. Деформации верхнего фибрового волокна

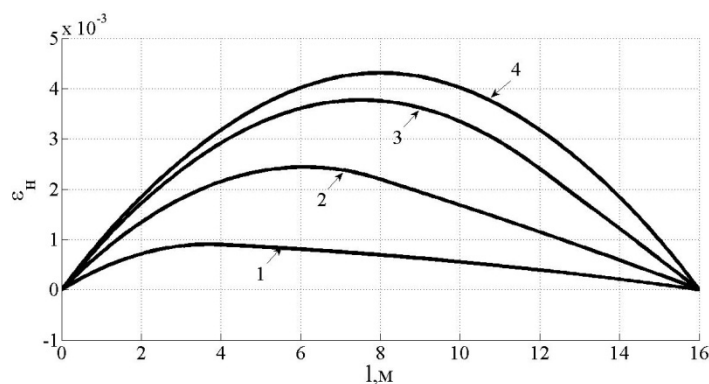


Рис. 4. Деформации нижнего фибрового волокна

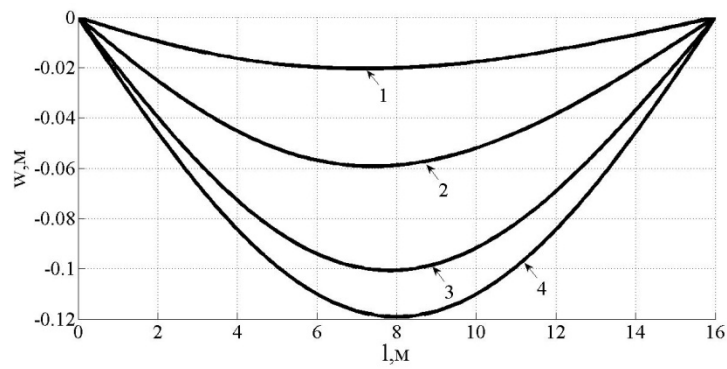


Рис. 5. Прогиб

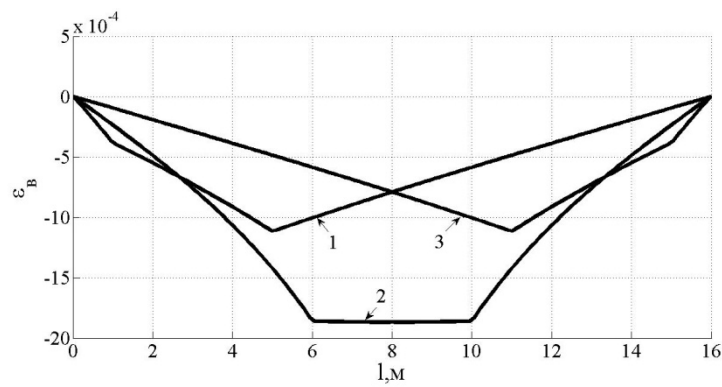


Рис. 6. Деформации верхнего фибрового волокна

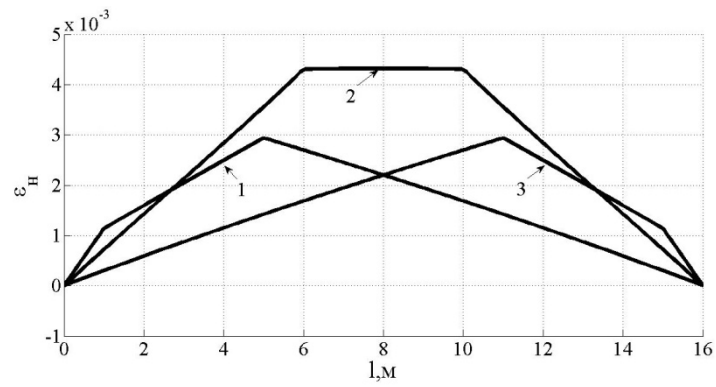


Рис. 7. Деформации нижнего фибрового волокна

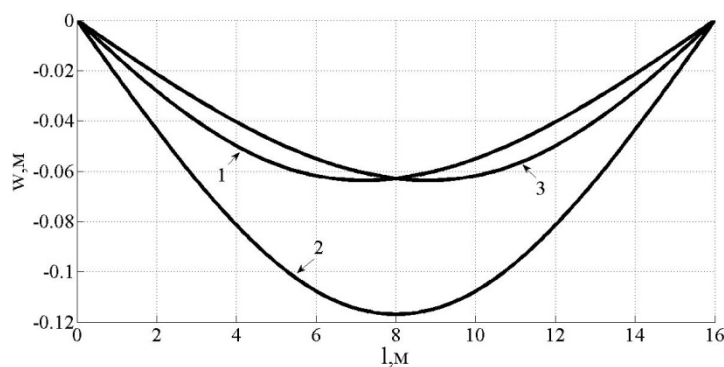


Рис. 8. Прогиб



Расчёт № 2. Размеры поперечного сечения и толщины слоёв такие же, как и в первом расчёте. Первый слой балки выполнен из бетона марки М250, второй из бетона марки М150. В данном расчёте будем изменять породы слоёв деревянной части балки. Для расчёта возьмём три породы древесины: 1 - сосна, 2 - лиственница, 3 - ясень. Имея трёхслойную деревянную балку и три породы древесины можно получить  $3^3 = 27$  различных вариантов поперечных сечений, отличающихся расположением пород. Балку с каждым из видов сечений будем загружать до наступления начала

разрушения по условию (10). Расчёт проводим для первой временной нагрузки, в момент времени, когда она перекрывает весь пролёт. Результаты расчёта приведены в табл.2. Столбец 2 показывает из каких пород изготовлены слоёв сечения. Так шифр 312 означает, что первый слой деревянной части балки выполнен из ясеня, второй из сосны и третий из лиственницы. В третьем и четвертом столбцах соответственно приведены предельное значение интенсивности распределённой нагрузки и максимальное значение прогиба балки.

Таблица 2. Результаты расчёта № 2

№	Распределение пород	$q_{max}$ кН/м	$w_{max}$ мм	$q_{max}/w_{max}$	№	Распределение пород	$q_{max}$ кН/м	$w_{max}$ мм	$q_{max}/w_{max}$
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	111	274	94,7	2,9	15	332	266	114,3	2,3
2	121	278	99,3	2,8	16	312	262	108,0	2,4
3	221	278	99,6	2,8	17	322	266	114,3	2,3
4	211	273	94,5	2,9	18	232	265	113,8	2,3
5	131	278	99,3	2,8	19	113	260	107,0	2,4
6	331	278	99,6	2,8	20	123	263	112,9	2,3
7	311	274	95,0	2,9	21	223	266	114,8	2,3
8	321	278	99,6	2,8	22	213	262	108,3	2,4
9	231	278	99,6	2,8	23	133	264	113,4	2,3
10	112	261	107,2	2,4	24	333	265	114,3	2,3
11	122	264	113,0	2,3	25	313	262	108,3	2,4
12	222	266	114,3	2,3	26	323	265	114,3	2,3
13	212	262	108,0	2,4	27	233	265	114,3	2,3
14	132	264	113,0	2,3					

Анализируя данные табл. 2 можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная несущая способность и минимальный прогиб достигаются для балок, выполненных из нескольких пород древесины. При этом наилучший результат по несущей способности не совпадает с наилучшим результатом по прогибам;
2. Изменяя расположение пород по сечению можно добиться увеличения предельной нагрузки на 6,9 % и уменьшения максимального прогиба на 17,7%. Следовательно, использование нескольких пород древесины

позволяет увеличить прочность и жесткость конструкции;

3. При оценке качества конструкции по критерию  $I = q_{max}/w_{max}$  (табл.2 столбец 5) наилучший вариант расположения пород получается, когда второй и третий слой деревянной части балки выполнены из сосны, а первый из любых трёх пород представленных в расчёте.

Необходимо также отметить, что по сравнению с первым расчётом, начало разрушения во всех случаях наступало внутри балки во втором слое плиты, где достигались предельные деформации сжатия.

## Выводы

Представленный в работе подход позволяет учитывать физическую нелинейность и разносопротивляемость материалов, реальные условия нагружения конструкции. Послойное распределение различных материалов в теле конструкции, а также широкие границы варьирования формы поперечного сечения дают большие возможности для решения оптимизационных задач.

Безитерационный метод конструирования решения разрешающей системы нелинейных уравнений (8) в виде (11) позволяет получить значительные преимущества в сравнении с существующими итерационными методами. Так, получив один раз решение системы (8), в дальнейшем нет необходимости её повторного решения при изменении нагрузки (её величины, положения и формы). И только при изменении формы сечения, материала слоёв и их расположения потребуется повторное решение нелинейных уравнений (8). В итерационных методах результаты расчёта действительны только для данного распределения внутренних усилий, данной формы сечения, данного материала слоёв и их расположения.

Представленные в работе расчёты показывают возможность значительного увеличения, как прочности, так и жёсткости конструкции за счёт комбинирования различных пород древесины в сечении. Показана важная особенность работы слоистых конструкций под нагрузкой, а именно, возможность возникновения скрытых форм разрушения, когда начальное разрушение возникает во внутренних слоях поперечного сечения.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00102).**

## Библиографический список

1. Стуков, В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты на автомобильных дорогах / В.П. Стуков. – Архангельск, 2009. – 454 с.
2. Rautakorpi H. Research project development of wood bridges, prospects of wood in various types of bridges /H. Rautakorpi, F. Tesar, A. Jutila a. o. Helsinki university of Technology, Laboratory of Bridge Engineering. – Otaniemi, 1993. – Publ. N 5. – 54 p.
3. Мищенко, А.В. Динамический расчёт слоисто-неоднородных балочных мостов [Текст] / А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский // Доклады на Всероссийской 65-ой научно-технической конференции ФГБОУ ВПО "СибАДИ". "Моделирование и инновационное развитие архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: фундаментальные прикладные исследования (с международным участием)" (Омск,

28-30 ноября 2011 г.). – Омск : Изд-во СибАДИ, 2011. – С. 30–35.

4. Мищенко, А.В. О критических режимах прогона тяжеловесного транспорта по мосту / А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский // Материалы международной 66-ой научно-практической конференции ФГБОУ ВПО "СибАДИ". Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования - основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2012. – С. 14–19.

5. Власов, Г.М. Об одном подходе к расчёту балочных пролётных строений как слоистых стержней диаграммными методами / Г.М. Власов, Ю.В. Немировский, Ю.Л. Соловьёв // Известия Транссиба. – 2012. – №2. – С. 122–126.

6. Лившиц, Я.Д. Примеры расчёта железобетонных мостов / Я.Д. Лившиц, М.М. Онищенко, А.А. Шкуратовский. – Киев : Вища школа, 1986. – 263 с.

7. Мельников, Ю.О. Определение несущей способности объединенных деревобетонных балок / Ю.О. Мельников // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений : сборник статей под ред. проф. К.Х. Толмачева. – Омск : Зап.-Сиб. кн. изд., Омское отделение, 1968. – С. 56–68.

8. Мельников, Ю.О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок / Ю.О. Мельников // Вопросы проектирования мостов : сборник статей СибАДИ. – Омск, 1970. – Вып. 3. – С. 35–44.

9. Кулиш, В.И. Клеевые деревянные мосты с железобетонной плитой / В.И. Кулиш. – М. : Транспорт, 1979. – 160 с.

10. Шумахер, А.В. Экспериментальное исследование жесткости нагельных связей объединенных деревобетонных балок под действием многократно-повторной нагрузки / А.В. Шумахер // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и строительных конструкций : сборник статей под ред. проф. К.Х. Толмачева. – Омск : Зап.-Сиб. кн. изд., Омское отделение, 1970. – С. 30–43.

11. Корн, Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М. : Наука, 1968. – 720 с.

12. Исследование прочности и деформативности древесины : сборник статей под ред. д-ра техн. наук проф. Г. Г. Карлсена. – М. : Госстройиздат, 1956. – 172 с.

13. Исследование мостовых и тоннельных конструкций : сборник статей под ред. действ. чл. Акад. строительства и архитектуры СССР проф. Г.К. Евграфова. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – 192 с.

14. Немировский, Ю.В. Метод расчёта композитных стержневых систем из разномодульных материалов / Ю.В. Немировский // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: материалы V Всероссийской научной конференции. – Томск : Изд-во ТГУ, 2006. – С. 288–290.

15. Немировский, Ю.В. Метод расчёта деревянных стропильных покрытий зданий. Сообщение 1: Моделирование и общие закономерности / Ю.В. Немировский, А.И. Болтаев // Изв. вузов. Строительство. – 2014. – №3. – С. 5–13.

16. Немировский, Ю.В. Диаграммы деформирования бетонов и железобетонов / Ю.В. Немировский, А.И. Болтаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – №6. – С.125–129.

17. Березин, И.С. Методы вычислений / И.С. Березин, Н.П. Жидков. – М. : Физматгиз, 1962. – Т. 1. – 464 с.

## CALCULATION OF WOOD REINFORCED CONCRETE GIRDER BRIDGE

Yu.V. Nemirovskiy, A.I. Boltaev

**Abstract.** This paper presents a general approach to the calculation of beam spans wood concrete bridge by taking into account physical nonlinearity and different resistance materials as well as the actual loading conditions. In general, it is assumed that a part of the concrete, and the wooden part represent a layered substructure made of different types of concrete and wood. A method for solving systems of nonlinear equations resolution, which has significant advantages in comparison with the iterative methods. Examples of calculations showing the possibility of a significant increase, both strength and rigidity of the structure due to a combination of different types of wood in the cross section. The important feature of the layered construction work under load, namely the possibility of latent forms of destruction when the initial breakdown occurs in the inner layers of the cross-section.

**Keywords:** tree reinforced concrete beam, physical nonlinearity, laminated beams, limit deformation.

### References

1. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnye balochnye mosty na avtomobil'nykh dorogakh* [Wood Concrete beam bridges on highways]. Arkhangelsk, 2009. 454 p.

2. Rautakorpi H., Tesar F., Jutila A. Research project development of wood bridges, prospects of wood in various types of bridges. *Helsinki university of Technology, Laboratory of Bridge Engineering*. Otaniemi, 1993. publ. N 5. 54 p.

3. Mishchenko A.V., Nemirovskiy Yu.V. *Dinamicheskiy raschet sloisto-neodnorodnykh balochnykh mostov* [Dynamic calculation of layered beam bridges]. *Doklady na Vserossiyskoy 65-oy nauchno tekhnicheskoy konferentsii FGBOU VPO "SibADI". "Modelirovaniye i innovatsionnoye razvitiye arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii: fundamental'nye prikladnye issledovaniya"*. Omsk, izdatel'stvo SibADI, 2011. pp. 30-35.

4. Mishchenko A.V., Nemirovskiy Yu.V. *O kriticheskikh rezhimakh progona tyazhelovesnogo transporta po mostu* [About critical conditions run heavy transport on the bridge]. *Materialy mezhdunarodnoy 66-oy nauchno-prakticheskoy konferentsii FGBOU VPO "SibADI". Orientirovannyye fundamental'nye i prikladnye issledovaniya - osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii*. Omsk, izdatel'stvo SibADI, 2012. pp. 14-19.

5. Vlasov G.M., Nemirovskiy Yu.V., Solov'ev Yu.L. *Ob odnom podkhode k raschetu balochnykh proletrykh stroeniy kak sloistykh sterzhney diagrammnyimi metodami* [An approach to the calculation of beam spans a layered rods diagrammatic methods]. *Izvestiya Transsiba*. 2012. No2. pp.122-126.

6. Livshits Ya.D., Onishchenko M.M., Shkuratovskiy A.A. *Primery rascheta zhelezobetonnykh mostov* [Examples of calculation of reinforced concrete bridges]. Kiev, Vishcha shkola, 1986. 263 p.

7. Mel'nikov Yu.O. *Opreделение nesushchey sposobnosti ob"edinennykh derevobetonnykh balok* [Determination of the bearing capacity of the combined beams derevobetonnykh], *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya mostov i sooruzheniy: sbornik statey pod red. prof. K.Kh. Tolmacheva*. Omsk, Zap.-Sib. kn. izd., Omskoe otdelenie, 1968. pp. 56-68.

8. Mel'nikov Yu.O. *Vliyaniye podatlivosti svyazey na prochnost' i zhestkost' derevobetonnykh mostovykh balok* [The impact of compliance communications on the strength and stiffness of the bridge beam's derevobetonnykh], *Voprosy proektirovaniya mostov: sbornik statey SibADI*, no. 3. Omsk, 1970. pp. 35-44.

9. Kulish V.I. *Kleenyye derevyannyye mosty s zhelezobetonnoy plitoy* [Glued wooden bridges with concrete slab], Moscow, Transport, 1979. 160 p.

10. Shumakher A.V. *Eksperimental'noye issledovaniye zhestkosti nagel'nykh svyazey ob"edinennykh derevobetonnykh balok pod deystviem mnogokratno-povtornoynagruzki* [Experimental study of stiffness nagelnyh connections combined derevobetonnyh beams under multiple re-load]. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya mostov i stroitel'nykh konstruksiy: sbornik statey pod red. prof. K.Kh. Tolmacheva*. Omsk, Zap.-Sib. kn. izd., Omskoe otdelenie, 1970. pp. 30-43.

11. Korn G.A., Korn T.M. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical Handbook for Scientists and Engineers]. Moscow, Nauka, 1968. 720 p.

12. Karlsen G.G. *Issledovaniye prochnosti i deformativnosti drevesiny. Sbornik statei*. [Investigation of strength and deformability of wood. Collection of articles]. Moscow, Gosstroizdat, 1956. 172 p.

13. Evgrafov G.K. *Issledovaniye mostovykh i tonnel'nykh konstruksiy. Sbornik statei* [The study of bridge and tunnel constructions], Moscow. Transzheldorizdat, 1960. - 192 p.

14. Nemirovskiy Yu.V. *Metod rascheta kompozitnykh sterzhnevykh sistem iz raznomodul'nykh materialov* [The method of calculation of composite beam systems made of materials multimodulus]. *Fundamental and applied problems of modern mechanics*. Proceedings of the V All-Russian Scientific Conference, Tomsk, TSU Publishing House, 2006. pp. 288-290.

15. Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. *Metod rascheta derevyannykh stropil'nykh pokrytiy zdaniy. Soobshcheniye 1: Modelirovaniye i obshchie zakonomernosti* [The method of calculation wooden roof coverings of buildings. Message 1: Modeling and general patterns]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2014. No. 3. Pp.5-13.

16. Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. Diagrammy deformirovaniya betonov i zhelezobetonov [Diagrams deformation concrete and reinforced concrete]. *Herald BSTU. V.G. Shukhov*. 2015. No. 6. pp.125-129.

17. Berezin I S., Zhidkov N.P. *Metody vychisleniy. Tom 1* [Calculation methods]. Moscow, Fizmatgiz, 1962 464 p.

*Немировский Юрий Владимирович (Россия, г. Новосибирск) - д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, e-mail: nemirov@itam.nsc.ru).*

*Болтаев Артём Иванович (Россия, г. Новосибирск) - асп.; Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича*

*СО РАН, (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, e-mail: boltaev\_artem@mail.ru).*

*Nemirovsky Yuriy Vladimirovich (Russian Federation, Novosibirsk) - doctor of physical and mathematical sciences, professor, Chief Researcher; Khristianovich Institute of theoretical and applied mechanics the Siberian Branch of Russian Academy of Science.(630090, Novosibirsk, st. Institutskay, 4/1, e-mail: nemirov@itam.nsc.ru).*

*Boltaev Artem Ivanovich (Russian Federation, Novosibirsk) - post-graduate student; Khristianovich Institute of theoretical and applied mechanics the Siberian Branch of Russian Academy of Science (630090, Novosibirsk, st. Institutskay, 4/1, e-mail: boltaev\_artem@mail.ru).*

УДК 625.72:528:48:658.562

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДОПУСКОВ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Ю.В. Столбов<sup>1</sup>, С.Ю. Столбова<sup>2</sup>, Л.А. Пронина<sup>3</sup>, И.Е. Старовойтов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Россия, г.Омск

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Россия, г. Омск

**Аннотация.** *Выполнен анализ методов расчета допусков на геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог для обеспечения заданного их высотного положения. Приведены примеры расчета допусков на геодезические работы с использованием методов равного и ничтожного влияния погрешностей на окончательное положение конструкций и метода с учетом точности технологических процессов при изыскании и строительстве автомобильных дорог. Рассчитаны нормы точности геодезических измерений при детальной разбивке отметок поверхностей оснований и покрытий, выносе отметок пикетов от рабочих реперов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог IV, V категорий общего пользования и ведомственных с применением комплекта машин без автоматической системы выдерживания заданных высотных отметок.*

**Ключевые слова:** *автомобильные дороги, точность технологических процессов, допуски на детальную разбивку отметок, вынос отметок пикетов на трассу от рабочих реперов, проложение нивелирных ходов.*

#### Введение

Точность геометрических параметров конструкций зданий и сооружений является одним из основных показателей качества современного строительства. Согласно ГОСТ 21778-81 [1], при проектировании зданий и сооружений и их отдельных элементов, разработке технологии изготовления элементов и возведения зданий и сооружений следует предусматривать, а в производстве применять

необходимые средства и правила технологического обеспечения точности.

Регламентация норм точности на геометрические параметры конструкций зданий и сооружений приводится в стандартах (ГОСТах), СНиП, СП и проектно-конструкторской документации. Для автомобильных дорог нормы точности геометрических параметров конструктивных слоев были регламентированы в СНиП

3.06.03-85 [2], где в обязательном приложении 2 приведена таблица с параметрами, используемыми при приемке и оценке качества строительно-монтажных работ и условия их оценки. В 2013 году введена в действие актуализированная редакция этого СНиПа – свод правил СП 78.13330.2012 [3], который в настоящее время является основным нормативным документом, а СНиП 3.06.03-85 [2] разрешено использовать при реконструкции ранее построенных сооружений.

Точность высотного положения оснований и покрытий дорожных одежд, в этом нормативном документе [3], регламентирована следующим образом: не более 10% результатов определений высотных отметок могут иметь отклонение от проектных значений в пределах  $\pm 20(\pm 50)$  мм, а остальные до  $\pm 10(\pm 25)$  мм, где приведенные значения в скобках относятся к видам работ, выполняемым комплектом машин без автоматической системой выдерживания заданных высотных отметок. При этом рекомендовано использование комплекта машин без автоматической системы выдерживания заданных высотных отметок только для дорог IV, V категорий общего пользования и ведомственных.

В нормативных документах регламентированы значения отклонений высотных отметок от проектных значений, которые следует принимать за основу расчета точности геодезических разбивочных работ (детальной разбивки отметок, выноса отметок пикетов от рабочих реперов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог). Обоснование допусков на геодезические разбивочные работы по стадиям их производства следует выполнять в обратной последовательности, т.е. при расчетах точности решать обратные задачи.

### **Анализ методов расчета допусков на геодезические работы**

Сначала необходимо обосновать допуски на контрольные геодезические измерения (геодезический контроль), где за основу необходимо принимать, регламентируемые в нормативных документах (СНиП, СП и др.), допустимые значения амплитуд высотных отметок оснований и покрытий дорожных одежд.

Для расчета допусков на детальную разбивку высотных отметок поверхностей конструктивных слоев дорожных одежд, от ранее вынесенных отметок пикетов автомобильных дорог, за исходную основу следует принимать регламентируемые в

нормативных документах допустимые отклонения (предельные погрешности) высотных отметок от проектных с учетом точности технологических процессов устройства оснований и покрытий.

В настоящее время для обоснования допусков на строительные и геодезические разбивочные работы при возведении плоскостных сооружений (какими являются автомобильные дороги) могут быть использованы методики с применением следующих методов расчета их точности: с использованием принципов равного и ничтожного влияния отдельных источников погрешностей на окончательное положение законченных строительством конструктивных слоев дорожных одежд; с учетом точности технологических процессов при изыскании и строительстве автомобильных дорог [4].

Для расчета точности отдельных видов работ, с обеспечением допустимых отклонений высотных отметок оснований и покрытий автомобильных дорог IV, V категорий общего пользования и ведомственных, с доверительными вероятностями  $P=0,9$  и  $P=0,95$ , зададимся нормируемой величиной  $\delta_H = 25$  мм, согласно [3]. Нормированные среднеквадратические погрешности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог определим по выражению.

$$m_H = \frac{\delta_H}{t}; \quad (1)$$

где  $\delta_H$  – допустимое отклонение (предельная) погрешность высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог;  
 $t$  – величина, которая соответствует вероятностям  $P=0,90$  при  $t=1,64$  и  $P=0,95$  при  $t=2,0$ .

Тогда при доверительных вероятностях  $P=0,9$  и  $P=0,95$  среднеквадратические погрешности будут иметь значения:

$$\text{при } P=0,9 \quad m_H = \frac{25}{1,64} = 15,2 \text{ мм};$$

$$\text{при } P=0,95 \quad m_H = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ мм}.$$

Метод расчета допусков, основанный на принципе равного влияния.

Применяя, принцип равного влияния отдельных погрешностей строительных ( $m_C$ ) и геодезических работ ( $m_G$ ) работ, составляющих суммарную погрешность

высотного положения устройства оснований и покрытий, рассчитаем их значения по выражению (2):

$$m_{\Gamma} = m_C = m_n / \sqrt{2}. \quad (2)$$

При доверительных вероятностях они будут иметь значения:

при  $P=0,9$   $m_{\Gamma} = m_C = 15,2 / \sqrt{2} = 10,74$  мм.

при  $P=0,95$   $m_{\Gamma} = m_C = 12,5 / \sqrt{2} = 8,84$  мм;

На общую среднеквадратическую погрешность геодезических разбивочных работ при изыскании и строительстве автомобильных дорог оказывают влияние погрешности:

$$m_{\Gamma} = \sqrt{m_{др}^2 + m_{вп}^2 + m_{нх}^2}, \quad (3)$$

где  $m_{др}$  – среднеквадратическая погрешность при детальной разбивке высотных отметок;  $m_{вп}$  - среднеквадратическая погрешность при выносе высотных отметок пикетов от рабочих реперов;  $m_{нх}$  - среднеквадратическая погрешность при проложении нивелирного хода.

Тогда значения составляющих среднеквадратических погрешностей будут:

$$m_{др} = m_{вп} = m_{нх} = \frac{10,74}{\sqrt{3}} = 6,20 \text{ мм.}$$

$$m_{др} = m_{вп} = m_{нх} = \frac{8,84}{\sqrt{3}} = 5,10 \text{ мм.}$$

Метод расчета допусков, основанный на принципе ничтожного влияния.

Для расчета погрешностей этим методом зададимся коэффициентом повышения точности  $Z=1,6$ , что соответствует

$\frac{m_m}{m} = 20\%$ . Коэффициент  $\frac{1}{Z}$  будет иметь

значение 0,63, а среднеквадратическая погрешность геодезических работ составит  $m_{\Gamma} = 0,63 * m_n$ .

Задаваясь доверительными вероятностями  $P=0,9$  и  $P=0,95$ , вычислим значения среднеквадратических погрешностей геодезических работ будут:

при  $P=0,9$   $m_{\Gamma} = 0,63 * 15,2 = 9,58 \geq \geq$

при  $P=0,95$   $m_{\Gamma} = 0,63 * 12,5 = 7,88 \geq \geq$

Погрешности измерений на старших ступенях будут для младших ошибками исходными данными. Потребуем, чтобы погрешности на последних ступенях были в  $Z$  раз меньше суммарного влияния всех погрешностей в данной ступени

$$m_{исх} = \frac{m_{изм}}{Z}. \quad (4)$$

Точность детальной разбивки высотных отметок является низшей ступенью по отношению к точности выноса высотных отметок пикетов от рабочих реперов. Точность выноса высотных отметок пикетов от рабочих реперов является низшей ступенью по отношению к точности проложения нивелирных ходов. Применительно к трем ступеням выполнения геодезических работ при изысканиях и строительстве автомобильных дорог и значении коэффициента  $Z=1,6$  имеем:

$$m_{вп} = \frac{m_{нх}}{Z}; \quad m_{др} = \frac{m_{вп}}{Z} = \frac{m_{нх}}{Z^2}. \quad (5)$$

С учетом выражения (5) формула (3) примет вид [5]:

$$m_{\Gamma} = \sqrt{m_{др}^2 + \frac{m_{вп}^2}{Z^2} + \frac{m_{нх}^2}{Z^4}}; \quad (6)$$

или

$$m_{\Gamma} = m_{др} * Q, \quad (7)$$

где

$$Q = \sqrt{\frac{1}{Z^4} + \frac{1}{Z^2} + 1}. \quad (8)$$

При коэффициенте  $Z=1,6$  значение  $Q=1,24$ . Среднеквадратические погрешности отдельных видов работ, составляющих суммарную погрешность, с учетом доверительных вероятностей будут иметь значения:

при  $P=0,90$   $m_{нх} = \frac{9,58}{2,56 * 1,24} = \frac{9,58}{3,17} = 3,02 \text{ мм.}$

при  $P=0,95$   $m_{нх} = \frac{7,88}{2,56 * 1,24} = \frac{7,88}{3,17} = 2,48 \text{ мм.}$

при  $P=0,90$   $m_{вп} = \frac{9,58}{1,6 * 1,24} = \frac{9,58}{1,98} = 4,84 \text{ мм.}$

при  $P=0,95$   $m_{вп} = \frac{7,88}{1,6 * 1,24} = \frac{7,88}{1,98} = 3,98 \text{ мм.}$

при  $P=0,90$   $m_{др} = \frac{9,58}{1,24} = 7,72 \text{ мм.}$

при  $P=0,95$   $m_{др} = \frac{7,88}{1,24} = 6,35 \text{ мм.}$

Выполним контроль правильности вычисления погрешностей:

$$m_{\Gamma} = \sqrt{2,48^2 + 3,98^2 + 6,35^2} = \sqrt{62,31} = 7,89\text{мм}$$

Метод расчета допусков с учетом точности технологических процессов при изыскании и строительстве автомобильных дорог.

При расчете допусков на геодезические работы, этим методом, используются значения коэффициентов точности технологических процессов их выполнения. Коэффициент точности технологического процесса – это коэффициент соотношения  $T_n$  апостериори ( $T_n = \delta_n/m_{\phi}$ ) при переходе от фактических среднеквадратических к предельным нормированным погрешностям (допустимым отклонениям), подобный нормируемому множителю  $t$  априори ( $t = \delta/m$ ) при переходе от среднеквадратических к предельным погрешностям ( $t=1,64$  при  $P=0,9$ , а  $t=2,0$  при  $P=0,95$ ).

В работе [6] приведены расчеты по обоснованию допусков на геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог с учетом коэффициентов точности технологических процессов при их выполнении:

- устройства оснований и покрытий -  $T_n=1,0; 1,5; 1,64; 2,0$  и  $2,5$ ;

- детальной разбивки высотных отметок поверхностей оснований и покрытий -  $T_{др}=1,64$  и  $2,0$  с учетом  $T_n=1,0; 1,5; 1,64; 2,0$  и  $2,5$ ;

- выноса высотных отметок пикетов от рабочих реперов -  $T_{вп}=2,0$  с учетом  $T_{др}=1,64$  и  $2,0$  и  $T_n=1,0; 1,5; 1,64; 2,0$  и  $2,5$ ;

- проложение нивелирных ходов с закреплением рабочих реперов  $T_{нх}=2,0$  с учетом  $T_{вп}=2,0$ ;  $T_{др}=1,64; 2,0$  и  $T_n=1,0; 1,5; 1,64; 2,0$  и  $2,5$ .

Для сравнения допусков, рассчитанных с применением этого метода с ранее рассмотренными, зададимся коэффициентом точности технологического процесса устройства оснований и покрытий автомобильных дорог равным  $T_n=1,64$ . Тогда значение допустимого отклонения (предельной погрешности) детальной разбивки, вычисленное по выражению  $\delta_{др} = 0,61 \cdot \delta_n$ ; согласно работы [7], будет равно  $\delta_{др} = 0,61 \cdot 25 = 15,25\text{мм}$ .

В СНиП 3.06.03-85 [2], при приемке и оценке качества строительных работ на «хорошо» и «отлично», предусмотрено обеспечение допустимых отклонений

высотных отметок от проектных с доверительными вероятностями  $P=0,9$  и  $P=0,95$ , тогда точность технологических процессов детальной разбивки можно принять равными  $T_{др}=1,64$  и  $T_{др}=2,0$ .

Величины среднеквадратических погрешностей детальной разбивки высотных отметок, в этом случае составят:

$$\text{при } T_{др}=1,64 \quad m_{др} = 15,25/1,64 = 9,27\text{мм};$$

$$\text{при } T_{др}=2,0 \quad m_{др} = 15,25/2,0 = 7,63\text{мм}.$$

Для расчета допустимых отклонений выноса (разбивки) высотных отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог, зададимся точностью технологического процесса выноса высотных отметок пикетов  $T_{вп}=2,0$ , соответствующей доверительной вероятности  $P=0,95$ , и от допусков детальной разбивки высотных отметок перейдем к допускам выноса пикетов от рабочих реперов.

Тогда допустимые отклонения выноса пикетов на трассу автомобильных дорог будут иметь значения:

$$T_n=1,64 \quad T_{др}=1,64 \quad T_{вп}=2,0$$

$$m_{вп} = 9,27 \cdot 0,9 = 8,34\text{мм};$$

$$T_{др}=2,0 \quad T_{вп}=2,0$$

$$m_{вп} = 7,63 \cdot 0,9 = 6,87\text{мм}.$$

При переходе от среднеквадратических погрешностей, к предельным нормируемый множитель, на выполнение геодезических работ  $t$ , принимают, согласно [8], равным 2, 2,5 или 3. Учитывая неизвестность уровня технологий на стадии изысканий автомобильных дорог, примем  $T_{нх}=2,0$ . В этом случае, допуски на геодезические работы при проложении нивелирных ходов будут иметь значения:

$$T_n=1,64 \quad T_{др}=1,64 \quad T_{вп}=2,0 \quad T_{нх}=2,0$$

$$m_{нх} = 8,34 \cdot 0,9 = 7,51\text{мм};$$

$$T_{др}=2,0 \quad T_{вп}=2,0 \quad T_{нх}=2,0$$

$$m_{нх} = 6,87 \cdot 0,9 = 6,18\text{мм}.$$

Допустимые отклонения и среднеквадратические погрешности на детальную разбивку, вынос высотных отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог для обеспечения их высотного положения, рассчитанные разными методами расчета точности, представлены в таблице.

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1 – Значения допустимых отклонений ( $\delta$ ) и среднеквадратических погрешностей ( $m$ ) на геодезические разбивочные работы, рассчитанные разными методами

№ п/п	Методы расчета с учетом	Коэффициент точности процесса $T_{\Pi}$	P	Нормированное значение отклонений высотных отметок		Среднеквадратические погрешности геодезических разбивочных работ			
				$\delta_H$ , мм	$m_H$ , мм	$\delta_{др}$ , мм	$m_{др}$ , мм	$m_{вп}$ , мм	$m_{нх}$ , мм
1	равного влияния погрешностей	-	0,90	25	15,2	10,20	6,20	6,20	6,20
			0,95	25	12,5	10,20	5,10	5,10	5,10
2	ничтожного влияния погрешностей	-	0,90	25	15,2	12,7	7,72	4,84	3,02
			0,95	25	12,5	12,7	6,35	3,98	2,48
3	с учетом точности технологического процесса устройства оснований и покрытий	$T_{\Pi} = 1,64$ $T_{др} = 1,64$ $T_{вп} = 2,0$ $T_{нх} = 2,0$	0,90	25	15,2	15,25	9,27	8,34	7,51
			0,90						
			0,95						
			0,95						
			0,95						
			0,95						
			0,95	25	12,5	15,25	7,63	6,87	6,18

Анализ результатов, полученных с применением разных методов расчета допусков разбивочных работ представленный в таблице 2.4, позволяет сделать следующие выводы:

1) при расчете допусков с применением метода, основанного на принципе равного влияния на всех этапах выполнения геодезических работ, получены равные значения норм точности, что противоречит практике при изыскании и строительстве автомобильных дорог;

2) при расчете допусков с применением метода, основанного на принципе ничтожного влияния, получены заниженные значения среднеквадратических погрешностей на вынос высотных отметок пикетов и проложение нивелирных ходов по сравнению с другими методами, а на точность детальной разбивки несколько выше по сравнению с методом их расчета, основанного на принципе равного влияния;

3) при расчете допусков с применением метода с учетом точности технологических процессов, получены значения среднеквадратических погрешностей выше на все этапы выполнения геодезических работ по сравнению с другими методами, то есть точность геодезических работ может быть понижена.

### Заключение

Приведенный анализ методов расчета допусков при изыскании и строительстве автомобильных дорог показал, что наиболее обоснованные нормы получены при применении метода с учетом точности технологических процессов устройства их оснований и покрытий, а также доверительных вероятностей обеспечения предельных погрешностей при производстве геодезических работ.

Применение метода расчета допусков с учетом точности технологических процессов позволит снизить затраты на производство работ с обеспечением требуемого качества строительства автомобильных дорог.

### Библиографический список

- ГОСТ 21778-81 (СТ СЭВ 2045-79). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. – Введ. 1980-12-02. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.
- СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги : утв. Комитетом Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 106 с.
- СП 78.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги. – М. : Минрегион России, 2012. – 118 с.



4. Столбов, Ю.В. Обеспечение точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] : монография / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев. – Омск : СибАДИ, 2013. – 144 с.

5. Левчук, Г.П. Курс инженерной геодезии. Основные виды инженерно-геодезических работ. Геодезические работы при изыскании и строительстве транспортных и промышленных сооружений [Текст] : учебник для вузов.– М. : Недра, 1970. – 408 с.

6. Столбов, Ю.В. Обеспечение точности проложения нивелирных ходов при изыскании и выноса высотных отметок пикетов при строительстве автомобильных дорог / Ю.В. Столбов, С.Ю. Столбова, Л.А. Пронина, И.Е. Старовойтов // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 2 (48). – С. 120–125.

7. Столбов, Ю.В. Расчет допусков на геодезические разбивочные работы с учетом точности технологических процессов при изысканиях и строительстве автомобильных дорог / Ю.В. Столбов, С.Ю. Столбова, Л.А. Пронина, И.Е. Старовойтов // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 5 (45). – С. 87–92.

8. СП 126.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве. – М. : Минрегион России, 2012. – 84 с.

### ANALYSIS METHODS OF CALCULATION FOR TOLERANCE GEODETIC WORKS IN ROAD CONSTRUCTION TO ENSURE SET THEIR ALTITUDE PROVISIONS

YU.V. Stolbov, S.YU. Stolbova, L.A. Pronina, I.E. Starovoytov

**Abstract.** The analysis methods for calculating allowances for geodetic works in prospecting and building roads to their predetermined height position. Examples of calculation of tolerances for surveying using equal and insignificant influence on the error of the final position of the structures and the method of taking into account the accuracy of technological processes in seeking and building roads. Calculated rate of accuracy of geodetic measurements in the detailed breakdown of marks surfaces of bases and covers, removal of marks pickets of workers frames and laying leveling moves along or on the highway Highway IV, V categories of public and agency using machines set without automatic system keeping predetermined elevations.

**Keywords:** roads, precision manufacturing processes, tolerances on the detailed breakdown of marks, removal of marks on the road pickets of workers frames, laying leveling moves.

### References

1. GOST 21778-81 (ST SJeV 2045-79). *Sistema obespechenija tochnosti geometricheskikh parametrov v stroitel'stve. Osnovnye polozhenija* [State standard 21778-81 (ST of SEV 2045-79).

System of ensuring accuracy of geometrical parameters in construction. Basic provisions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1981. 9 p.

2. SNiP 3.06.03-85. *Avtomobil'nye dorogi: utv. Komitetom Soveta Ministrov SSSR po delam stroitel'stva (Gosstroj SSSR)* [Construction Norms and Regulations 3.06.03-85]. Moscow, CИTP Gosstroja SSSR, 1985. 106 p.

3. SP 78.13330.2012 *Aktualizirovannaja redakcija SNiP 3.06.03-85 Avtomobil'nye dorogi* [The joint venture 78.13330.2012 Staticized edition Construction Norms and Regulations 3.06.03-85 Highways]. Moscow, Minregion Rossii, 2012. 118 p.

4. Stolbov, Ju. V. Ensuring the accuracy of the height of the bases and coverings of highways: monograph / Ju. V. Stolbov, S. Ju. Stolbova, D. O. Nagaev. - Omsk: SibADI, 2013. – 144 с.

5. Levchuk, G. P. the Course of engineering geodesy. Principal engineering-geodesic works. Surveying work in the search for and construction of transport and industrial structures [Text]: textbook for universities. - M.: Nedra, 1970. - 408 p

6. Stolbov Ju.V., Stolbova S.Ju., Pronina L.A., Starovoytov I.E. Ensuring accuracy of prolozheniya of the levelling courses at research and carrying out of elevation marks of pickets at construction of highways ]. *Vestnik SibADI*, 2016, no 1 (47). pp. 120-125.

7. Stolbov Ju.V., Stolbova S.Ju., Pronina L.A., Starovoytov I.E. Raschet dopuskov na geodezicheskie razbivochnye raboty s uchetom tochnosti tehnologicheskikh processov pri izyskaniyah i stroitel'stve avtomobil'nyh dorog [Calculation of admissions for geodetic marking works taking into account the accuracy of technological processes at researches and construction of highways]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 5 (45). pp. 87-92.

8. SP 126.13330.2012 *Aktualizirovannaja redakcija SNiP 3.01.03-84 Geodezicheskie raboty v stroitel'stve* [The joint venture 126.13330.2012 Staticized edition Construction Norms and Regulations 3.01.03-84 Geodetic works in construction]. Moscow, Minregion Rossii, 2012. 84 p.

*Столбов Юрий Викторович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Геодезия» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sssu0810@mail.ru).*

*Столбова Светлана Юрьевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 11).*

*Пронина Лилия Анатольевна (Россия, г. Омск) – старший преподаватель кафедры «кафедры «Геодезии и дистанционного зондирования» ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, г. Омск, Институтская площадь ).*

*Старовойтов Илья Евгеньевич (Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Геодезии и дистанционного зондирования» ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, г. Омск, Институтская площадь, 2 e-mail: sssu0810@mail.ru).*

*Stolbov Yury Viktorovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of Geodeziya of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: ssu0810@mail.ru).*

*Stolbova Svetlana Yurevna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor, the department chair «Oil and gas business, standardization and metrology» of The Omsk state technical university (644050, Omsk, Mira Ave., 11).*

*Pronina Lilia Anatolyevna (Russian Federation, Omsk) Senior Lecturer of the Department "the Department" Geodesy and Remote Sensing "VPO Omsk GAU )( 644008, Omsk, Institutskaya Square).*

*Starovoytov Ilya Evgenyevich (Russian Federation, Omsk) – graduate student of the Department "Geodesy and Remote Sensing" VPO Omsk GAU (644008, Omsk, Institutskaya Square, 2 e-mails: ssu0810@mail.ru).*

УДК 625.89

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ НАГРЕТЫХ КАМЕНИСТЫХ ЧАСТИЦ В ЛЕДЯНОЙ СЛОЙ ГОРНОЙ ДОРОГИ КЫРГЫЗСТАНА

Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова

Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, г.Бишкек, Кыргызстан

**Аннотация.** *Статья посвящена борьбе с гололедницей на горной дороге за счет обеспечения надлежащего сцепления горной дороги с колесами транспортных средств. Для увеличения сцепления предлагается образовать на ледяном слое горной дороги каменистую шероховатость путем рассыпки каменистых частиц (щебень, песок, гравий) в нагретом состоянии, которые погружаются в ледяной слой. В работе описаны условия проведения и результаты экспериментальных исследований. Получены экспериментальные зависимости глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой дорожного покрытия от температуры нагрева рассыпаемых каменистых частиц для различных фракций каменистых частиц. Определены рациональные значения температуры нагрева каменистых частиц.*

**Ключевые слова:** *каменистые частицы, ледяной слой, шероховатость, температура нагрева, глубина погружения.*

#### Введение

В Кыргызстане расположены самые высокогорные перевальные участки дорог мира. Горные дороги характеризуются крутыми подъемами и спусками, малыми радиусами поворотов в плане. Более двадцати перевалов находятся на высоте свыше 3000 м над уровнем моря. На перевальных участках дороги снежные покровы могут находиться с сентября месяца по май, а в некоторых высокогорных участках снежный покров остается практически круглый год [1]. Анализ динамики аварийности свидетельствует о росте дорожно-транспортных происшествий на горных участках дорог, особенно в зимнее время [2]. В странах СНГ и за рубежом для борьбы с гололедницей используют разбрасывающие машины, реализующие способ рассыпки холодных каменистых частиц (сыпучих материалов с зёрнами размером от 5 мм до 15 мм) на ледяные поверхности дорог [3, 4]. Однако эффективность рассыпки каменистых частиц

на перевальных участках горной дороги, имеющих крутые подъемы и спуски, снижается в связи с возрастанием явления отскока и прокатывания каменистых частиц по ледяной поверхности дороги вниз. Наличие уклонов горной дороги уменьшает степень сцепления каменистых частиц с ледяной поверхностью. Такое явление на горной дороге требует частой рассыпки каменистых частиц, что увеличивает стоимость зимнего содержания дорог [5, 6].

В работе излагается предлагаемая технология образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги, суть которой заключается в рассыпке каменистых частиц в нагретом (горячем) состоянии на ледяной слой, которые погружаются в лед, замораживаются и образуют каменистую шероховатость [7]. Определение глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой горной дороги при различных температурах и размерах каменистых частиц является актуальной задачей.

### Условия проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в зимнее время в натуральных условиях горной дороги Кыргызстана на высоте 3150 метров над уровнем моря (на перевале Алабел дороги Бишкек-Ош). Целью исследования являлось определение рациональной температуры нагрева каменных частиц, при которой глубина погружения нагретых каменных частиц в ледяном слое составляла примерно половину их диаметра. Экспериментальные исследования проводились при температуре ледяного слоя  $-17^{\circ}\text{C}$  (минус 17). Толщина ледяного слоя составляла 20–35 мм.

Каменные частицы были изъятые с карьеров вдоль дороги Бишкек–Ош, вблизи села Токтогул. Далее каменные частицы промывались водой и подвергались сортировке по четырем фракциям диаметром от 3,5 мм до 13 мм. Нагрев каменных частиц проводился в нагревательном устройстве исследуемой машины. Температура каменных частиц определялась с помощью

инфракрасного прибора–термометра 8888 с лазерным целеуказателем, а глубина проникновения каменных частиц в ледяной слой – штангенциркулем. Температура каменных частиц записывалась в полевой книге, а также в памяти прибора–термометра 8888.

В дальнейшем производили рассыпку нагретых каменных частиц на ледяной слой горной дороги. Каменные частицы, растапливая ледяной слой, погружались в него и замораживались. Погружение происходило за счет положительной (плюсовой) температуры каменных частиц и их сил тяжести. Замораживание нагретых каменных частиц в ледяном слое горной дороги происходило за счет отрицательной (минусовой) температуры ледяного слоя. В результате такого взаимодействия на поверхности дороги образуется каменная шероховатость (рисунки 1 и 2). Замораживание каменных частиц происходило в течение 4 – 9 секунд, в зависимости от их температуры и температуры ледяного слоя [8].



Рис. 1. Каменные частицы, разбросанные и замороженные на ледяном слое дороги



Рис. 2. Каменная шероховатость на ледяном слое дорожного покрытия

### Результаты экспериментальных исследований

На рисунке 3 представлены графические зависимости (линии 1, 2, 3 и 4) глубины погружения каменных частиц в ледяной

слой дорожного покрытия от температуры нагрева рассыпаемых каменных частиц. Точками обозначены средние значения глубины погружения каменных частиц из трех повторов экспериментальных точек.

Стрелками показаны рациональные температуры нагрева каменистых частиц, при которых глубины погружения их в ледяной

слой составляют примерно половину величины диаметра каменистых частиц.

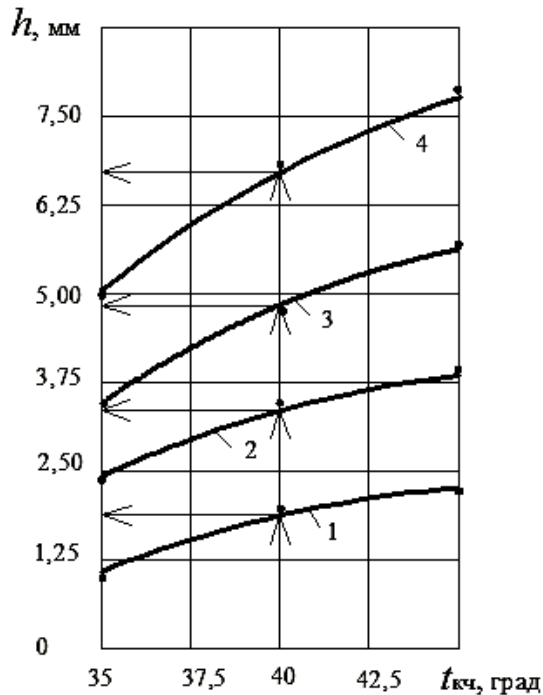


Рис. 3. Зависимости глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой от температуры каменистых частиц:  
 1 – для фракции со средним диаметром  $d_{кч} = 3,5$  мм;  
 2 – для фракции со средним диаметром  $d_{кч} = 6$  мм;  
 3 – для фракции со средним диаметром  $d_{кч} = 9$  мм;  
 4 – для фракции со средним диаметром  $d_{кч} = 13$  мм

Как видно из рисунка 3, при повышении температуры каменистых частиц  $t_{кч}$  от 35 °С до 45 °С, глубина погружения каменистых частиц в ледяной слой  $h$  возрастает по криволинейным зависимостям с выпуклостью вверх. С увеличением диаметра каменистых частиц глубина их погружения в ледяной слой увеличивается в указанных пределах изменения температуры нагрева каменистых частиц. При температуре 40 °С каменистые частицы со средним диаметром  $d_{кч} = 3,5$  мм погружались на глубину в среднем 1,8 мм, а каменистые частицы со средним диаметром  $d_{кч} = 13$  мм погружались на глубину в среднем 6,4 мм. Наибольшая глубина погружения

каменистых частиц в ледяной слой ( $h = 7,64$  мм) наблюдалась для фракции со средним диаметром 13 мм при температуре нагрева на 45 °С. Увеличение глубины погружения в ледяной слой с ростом диаметра каменистых частиц объясняется увеличением силы тяжести, которая способствует погружению и повышенным накоплением (пропорционально массе каменистых частиц) энергии при их нагреве.

Значения глубин погружения каменистых частиц в ледяной слой для всех фракций в пределах изменения температуры нагрева каменистых частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения глубин погружения каменных частиц в ледяной слой

Средний диаметр фракций каменных частиц	Глубина погружения при температуре нагрева $t_{кч} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мм	Глубина погружения при температуре нагрева $t_{кч} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мм	Глубина погружения при температуре нагрева $t_{кч} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мм	Изменение глубины погружения в пределах от $t_{кч} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{кч} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мм
$d_{кч} = 3,5\text{ мм}$	1,13	1,8	2,32	1,19
$d_{кч} = 6\text{ мм}$	2,37	3,5	3,82	1,45
$d_{кч} = 9\text{ мм}$	3,61	4,8	5,53	1,92
$d_{кч} = 13\text{ мм}$	5,09	6,4	7,64	2,55

Изменение глубины погружения каменных частиц в ледяной слой дорожного покрытия возрастает с увеличением размеров каменных частиц по мере роста температуры каменных частиц в указанных пределах. Так, для фракции каменных частиц со средним диаметром  $d_{кч} = 3,5\text{ мм}$  изменение глубины погружения составляла 1,19 мм (от 1,13 мм при температуре нагрева  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 2,32 мм при температуре нагрева  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Изменение глубины погружения каменных частиц для фракции со средним диаметром  $d_{кч} = 13\text{ мм}$  составляла 2,55 мм (от 5,09 мм при температуре нагрева  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 7,64 мм при температуре нагрева  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Глубины погружения каменных частиц в ледяной слой при температуре  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  для указанных фракций соответственно составляли 1,8 мм и 6,4 мм.

В соответствии с графиками, представленными на рисунке 3 можно сделать вывод, что для фракций каменных частиц с размерами от  $d_{кч} = 3,5\text{ мм}$  до  $d_{кч} = 13\text{ мм}$  рациональным значением температуры нагревания каменных частиц является температура  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В этих условиях глубина погружения каменных частиц в ледяной слой горной дороги составляет примерно половину их диаметра.

**Выводы**

1. Экспериментально установлено, что при фиксированных значениях температуры нагрева каменных частиц глубина погружения каменных частиц в ледяной слой дорожного покрытия увеличивается с ростом размера каменных частиц. Это объясняется увеличением силы тяжести погружаемых каменных частиц и повышением накопления энергии при их нагреве.

2. В результате экспериментальных исследований установлено, что рациональным значением температуры нагревания каменных частиц для образования каменной шероховатости является температура  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температуре ледяного слоя дорожного покрытия горной дороги минус  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Библиографический список**

1. Шаршембиев, Ж.С. Анализ природно-климатических факторов, влияющих на показатели эксплуатационных свойств колесных машин в горных условиях / Ж.С.Шаршембиев // Известия ВУЗов. – Бишкек, 2011. – № 7. – С. 17–21.
2. Барпиев, А.Ж. Влияние увеличения интенсивности движения автомобилей по горным дорогам на количество ДТП / А.Ж.Барпиев, Г.Дж.Джолдошева // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014. – № 2. – С. 25–27.
3. A Practical Guide for Snow and Ice Control: The Snowfighter's Handbook. – Alexandria, Virginia, USA: The Salt Institute, 2013. – 24 p.
4. Walus K.J. Analysis of Tire-road Contact Under Winter Conditions / K.J.Walus, Z.Oslewski // Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. III, July 6 – 8, 2011, London, UK. – pp 2381-2384.
5. Гомонай, М.В. Способы повышения безопасности движения автомобильного транспорта на дорогах с низким коэффициентом сцепления / М.В. Гомонай, А.Д.Игнатъев // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 5. – С. 20–22.
6. Веюков, Е.В. Технологии строительства и очистки ото льда лесовозных дорог с антигололедным покрытием : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Веюков Е.В. ; науч. рук. проф. М.Г.Салихов ; Поволж. гос. технол. ун-т. – Йошкар-Ола, 2013. – 20 с.
7. Пат. 1377 КР: МПК Е 01 Н 10/00: Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова, С.Дж.Тургумбаев; КГТУ. – № 20100062.1 ; заявл. 18.05.2010 ; опубл. 30.08.2011, Бюл. № 8. – С. 9.
8. Тургумбаев, Ж.Ж. Взаимодействие пневматических колес со снежной поверхностью горной дороги при наличии каменной шероховатости / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014. – № 2. – С. 41–44.

**EXPERIMENTAL DETERMINATION  
OF THE DEPTH OF HEATED  
ROCKY PARTICLES IMMERSION IN THE ICE  
LAYER OF KYRGYZSTAN MOUNTAIN ROAD**

J.J.Turgumbaev, Zh.T.Gaparova

**Abstract.** *The article is devoted to the fight against sleet mountain road by ensuring proper adhesion of a mountain road with the wheels of vehicles. To increase traction on the ice offered to form a layer of rocky mountain road roughness by wastage rocky particles in the heated state with an ice layer. The paper describes the conditions and the results of experimental studies. The experimental dependence of the depth of immersion of rocky particles in the ice layer of pavement on the heating temperature are scattered rocky particles for various fractions of rocky particles. Rational values defined temperature heating rocky particles.*

**Keywords:** *rocky particles, ice layer, the roughness, the heating temperature, diving depth.*

### References

1. Sharshembiev Zh.S. Analiz prirodno-klimaticheskikh faktorov, vliuushih na pokazateli ekspluatatsionnykh svoystv kolesnykh mashin v gornyykh usloviyakh [Analysis of climatic factors influencing the performance properties of wheeled vehicles in the mountains]. *Izvestiya vuzov*. – Bishkek, 2011, no 7, pp. 17-21.
2. Barpiev, A.Zh., Zholdosheva G.Zh. Vlianie uvelicheniya intensivnosti dvizheniya avtomobilei po gornym dorogam na kolichestvo DTP [The Influence of increasing intensity of car traffic on mountain roads the number of traffic accidents]. *Science and New Technologies*. – Bishkek, 2014, no 2, pp. 25-27.
3. A Practical Guide for Snow and Ice Control: The Snowfighter's Handbook. – Alexandria, Virginia, USA: The Salt Institute, 2013. – 24 p.
4. Walus K.J. Analysis of Tire-road Contact Under Winter Conditions. Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. III, July 6 – 8, 2011, London, UK. – pp. 2381-2384.
5. Goman, M.V., Ignat'ev A.D. Sposoby povysheniya bezopasnosti dvizheniya avtomobil'nogo transporta na dorogah s nizkim koeffitsientom stepeniya [Ways to improve the safety of road transport on roads with a low coefficient of adhesion]. *Stritel'nye i dorozhnye mashiny*, 2014, no 5, pp. 20-22.
6. Veukov E.V. *Technologii stroitel'stva i ochistki oto l'da lesovoznykh dorog s antigoleddnym pokrytiem* [Technology of building and cleaning of ice logging roads with anti-icing coating]: author. dis... candidate. tech. Sciences : 05.21.01 / E.V.Veukov; - scientific. hands. Professor M.G. Salikhov; Powolj. State Indus. University - Yoshkar-Ola, 2013. – 20 p.
7. Turgumbaev J.J., Gaparova Zh.T., Turgumbaev S.Zh. *Ustroistvo dlia obrazovaniya sherohovatosti na ledianoi poverhnosti dorogi* [Device for the formation of roughness on the ice surface road]. Patent KR, no 20100062.1, 2011.
8. Turgumbaev J.J., Gaparova Zh.T. *Vzaimodeistvie pnevmaticheskikh koles so snezhnoi poverhnost'iu gornoj dorogi pri nalichii kamenistoi sherohovatosti* [The Interaction of pneumatic wheels with snow surface mining road in the presence of rocky roughness]. *Science and New Technologies*. – Bishkek, 2014, no 2, pp. 41-44.

*Турғумбаев Женишбек Жумадылович (Бишкек, Кыргызстан) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры “Механика и промышленная инженерия” Кыргызского государственного технического университета (КГТУ) им. И.Раззакова (720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: t\_jenish@mail.ru).*

*Гапарова Жанаркан Тактахуновна (Бишкек, Кыргызстан) – старший научный сотрудник НИИ физико-технических проблем при КГТУ им. И.Раззакова (720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: janar\_2018@mail.ru).*

*Turgumbaev Jenishbek Jumadilovich (Bishkek, Kyrgyzstan) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Mechanics and industrial engineering of the Kyrgyz State Technical University (KSTU) named after I.Razzakov (720044, Bishkek, Ch.Aitmatov ave., 66, e-mail: t\_jenish@mail.ru).*

*Gaparova Zhanarkan Takhtakhunovna (Bishkek, Kyrgyzstan) – Senior Researcher, Research Institute of Physical and Technical Problems under the KSTU named after I.Razzakov (720044, Bishkek, Ch.Aitmatov ave., 66, e-mail: janar\_2018@mail.ru).*

УДК 624.273

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОСТАВНЫХ ПРОГОНОВ ИЗ БРЕВЕН С СОЕДИНЕНИЯМИ НА ГЛУХИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НАГЕЛЯХ, ЗАЩЕМЛЕННЫХ В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ

В.А. Уткин, Н.В. Синиговская  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** *Настоящая статья посвящена исследованию разработанных на кафедре мостов пролетных строений с составными прогонами из бревен, объединяемых для совместной работы посредством глухих цилиндрических нагелей, заделанных в стальных пластинах, разработке методов их расчета и*

*совершенствованию конструктивно-технологических форм пролетных строений. Особенностью рассматриваемых нагельных соединений является жесткое защемление нагелей в спаренных стальных накладках. В силу жесткой заделки нагеля по шву сопряжения следует ожидать повышения несущей способности соединения за счет изгибной жесткости нагеля и за счет местного смятия древесины под нагелем. Для учета податливости рассматриваемого нагельного соединения разработан новый метод расчета. Представленные материалы свидетельствуют об эффективности принимаемых решений.*

**Ключевые слова:** составные прогоны из бревен, глухие цилиндрические нагели, упругая податливость, напряжения смятия нагельного гнезда, несущая способность соединения

### Введение

За последние 15-20 лет древесина за рубежом получила широкое признание и смогла стать конкурентоспособным конструкционным материалом. Отличительной чертой современных методов строительства деревянных мостов стала их индустриальность. Наибольшее распространение получили те конструкции, которые монтируются в короткие сроки из полностью готовых элементов или блоков, при этом, благодаря заводскому изготовлению элементов, увеличились сроки службы сооружений, упростился монтаж, а сроки строительства сократились. Большую роль в развитии индустриального мостостроения играют клееные конструкции, отвечающие всем современным требованиям, предъявляемым к строительству [1].

Отечественное деревянное мостостроение шло и развивалось своим самобытным путем, опираясь на неограниченные лесные ресурсы и высокое плотничное мастерство русского работника. В 1960 году на автодорогах России из общего количества мостов 92 % были деревянными, построенными по нормам военного времени. В это время основой государственной технической политики в области строительства, в том числе транспортного строительства, стало повсеместное внедрение сборного железобетона. Был отдан бескомпромиссный приоритет сборному железобетону в ущерб всем другим материалам, конструкциям и технологиям. Комплексная целевая программа на 1988-1990 и до 2000 года «Мировой уровень», обозначившая до конца века приоритеты отечественного мостостроения для железобетонных и стальных мостов, начисто игнорировала деревянные мосты вопреки мировому опыту. Деревянные мосты на автомобильных дорогах федерального значения были полностью заменены железобетонными или стальными. На дорогах других категорий они также утратили своё лидирующее положение и доля их постоянно снижается до сегодняшних дней. В этой связи накопленный опыт проектирования и строительства деревянных, комбинированных (с использованием деревянных

конструкций) мостов оказался практически утраченным. Ранее разработанные серии типовых проектов деревянных мостов устарели, ранее построенные деревянные мосты разрушаются, а с ними разрушаются установившиеся связи между населенными пунктами и сами поселения в том числе. Ясно, что все отработавшие свой срок деревянные мосты нельзя заменить капитальными из железобетона и стали, нельзя их заменить и современными на основе клееных конструкций. Для этого потребуется время, средства и воля руководства отрасли на создание индустриальной базы по внедрению клееной древесины в транспортное строительство. Несмотря на лесное богатство нашей страны, на развитое лесозаготовительное производство и относительно низкую стоимость древесины, производство клееной древесины для мостостроения было прекращено.

Учеными нашей страны внесен существенный вклад в развитие теории и практики применения деревянных клееных конструкций (ДКК) в мостостроении, были построены предприятия (мастерские) по изготовлению мостовых балок из клееной древесины, разработаны проекты, построены мосты, которые показали высокую жизнеспособность, сопоставимую даже с железобетонными мостами. Получен богатый материал для дальнейшего совершенствования и применения этих конструкций. К сожалению, в настоящее время предприятия по изготовлению мостовых конструкций и построенные мосты разобраны, проектные и исследовательские группы специалистов этими вопросами не занимаются.

Если процесс воспроизводства клееной древесины требует определенных затрат и времени, то производство традиционных конструкций пролетных строений можно развивать и совершенствовать. Переход на новые временные нагрузки не является основанием для прекращения строительства мостов из древесины. На кафедре мостов СибАДИ разрабатываются и внедрены в производство пролетные строения под современные нагрузки из коробчатых

дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков длиной 15 метров, пролетные строения с составными прогонами из бревен длиной 7,5 и более метров. Первый опытный мост с отмеченными пролетными строениями построен 11 лет назад. Несущие конструкции моста находятся в отличном состоянии, не имеют повреждений, конструктивно защищены от атмосферных воздействий при постоянной влажности 10-14%. Такие условия содержания гарантируют жизнестойкость сооружений 50 и более лет. В настоящее время в Омской области построено 9 таких мостов. Материалы по этой работе были опубликованы в сборнике РОСАВТОДОРА «Дороги и мосты» [2,3], доложены на конференциях, посвященных опыту и перспективам применения новых строительных материалов и новых технологий в дорожном и мостовом хозяйстве

Новосибирской области 2014 и 2016 г. и др. Однако, дело продвигается медленно.

Настоящая статья посвящена исследованию разработанных на кафедре мостов пролетных строений с составными прогонами из бревен, объединяемых для совместной работы посредством глухих цилиндрических нагелей, заделанных в стальных пластинах, разработке методов их расчета и совершенствованию конструктивно-технологических форм.

*Конструкция пролетного строения с составными прогонами из бревен*

Пролетное строение [4] составлено из попарно объединенных связями 1 прогонов 2, содержащих окантованные на два канта бревна 3, соединенные между собой по окантованным плоскостям гребенчатыми накладками из стальных пластин 4 и жестко закрепленных в них цилиндрических глухих нагелей 5 (рис. 1 а, б).

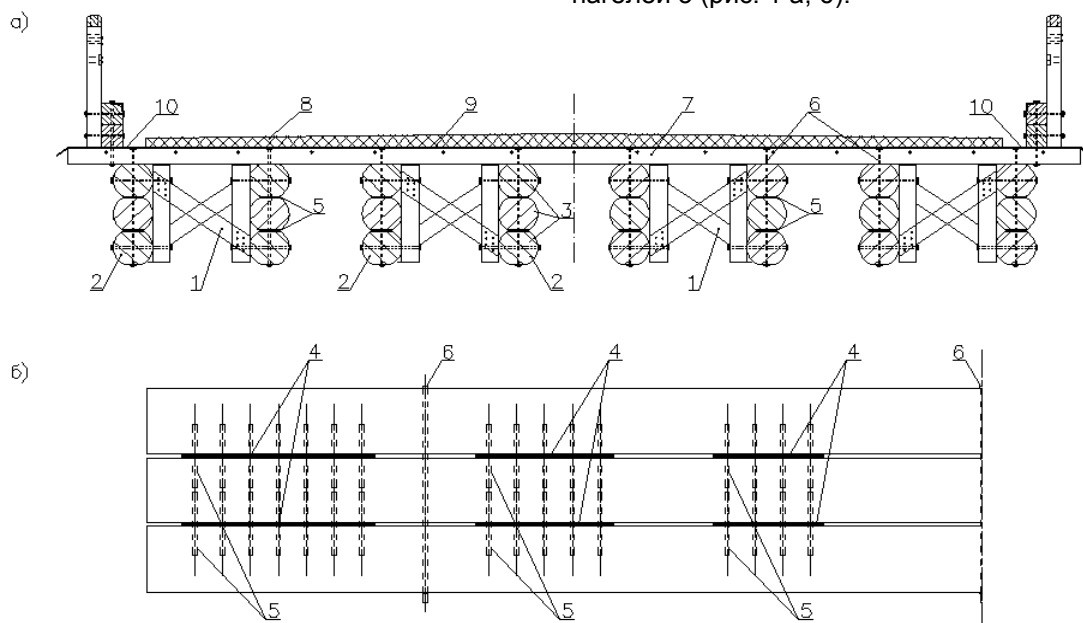


Рис. 1. Конструкция пролетного строения с составными прогонами из бревен: а – поперечное сечение; б – составной прогон на длине половины пролета

Нагели 5 установлены в заранее засверленные для них отверстия, составные пакеты из бревен объединены стяжными болтами 6, а совмещенные пластины 5 сваркой. По спаренным блокам прогонов уложена брусчатая деревоплита 7 с гидроизоляционным слоем 9 из мостопласта и асфальтобетонным покрытием 8. Отвод воды с проезжей части производится за счет поперечных уклонов и продольных стальных лотков 10.

Предложенная конструкция впервые в 2004 году была применена на строительстве опытного моста через реку Ушайра в Знаменском районе Омской области для

перекрытия береговых пролетов длиной 7,4 метра под нагрузку А11 и НГ-60. При проектировании составных прогонов соединения между отдельными ветвями рассматривались абсолютно жесткими с введением поправочных коэффициентов, уменьшающих жесткость поперечных сечений на изгиб. Статические испытания пролетных строений временной нагрузкой перед приемкой моста в эксплуатацию показали соответствие фактического и теоретического напряженно-деформированного состояний конструкции.

Опыт применения составных прогонов с описанными связями сдвига показал высокую



эффективность их как при изготовлении прогонов, связанную с упрощением конструкции и процессов соединения, так и при обеспечении совместной работы отдельных элементов между собой. Изучение влияния податливости применяемых нагельных соединений на НДС пролетных строений ранее не проводилось.

**Соединения составных стержней (прогонов)**

Составной стержень (балка, прогон) может иметь в поперечном сечении несколько элементов (частей), соединенных между собой по всей длине. При жестком соединении частей его можно считать монолитным, даже, если части его выполнены из различных материалов. В других случаях приходится учитывать податливость соединений. В деревянных мостах составные балки (прогоны) применяли для перекрытия пролетов длиной 8-10 метров. В качестве соединительных элементов применяли деревянные колодки из древесины твердых пород, стальные пластинчатые нагели, стальные цилиндрические нагели, равномерно распределяемые по длине соединений. С переходом на более тяжелые временные нагрузки применение составных прогонов из брусев и бревен в мостах практически прекратилось. Стальные цилиндрические нагели, наоборот, нашли применение в соединениях железобетонно плиты с клееными балками деревобетонных пролетных строений [5, 6].

Соединения со стальными накладками на глухих цилиндрических нагелях являются мало востребованными в практике деревянных конструкций, а в нормативных документах отсутствуют необходимые данные для расчета этих соединений. В своде правил [7], например, содержатся

указания (п.7.16), допускающие их применение при условии обеспечения необходимой плотности постановки нагелей, указано минимальное заглубление нагеля в древесину на 5 диаметров и требование к диаметру отверстия, которое должно быть на 0,5 мм меньше диаметра нагеля. В [8] все необходимые указания для расчета относятся только к сквозным цилиндрическим нагелям.

В настоящей работе предполагается, что стальные цилиндрические нагели диаметром от 12 до 25 мм жестко закреплены в стальных пластинах сваркой, плотно установлены в подготовленные отверстия в сопрягаемых плоскостях прогонов, которые после совмещения стальных накладок при составлении прогонов объединены в единое целое фланговой сваркой по кромкам.

**Особенности работы нагельных соединений с цилиндрическими нагелями, защемленными в стальных пластинах**

Работа нагельных соединений деревянных конструкций сравнительно хорошо изучена. Однако решение вопроса о характере работы составных прогонов без знания величин упругой податливости и обмятия при расчетном значении несущей способности связующих элементов не может быть выполнено.

Особенностью рассматриваемого нагельного соединения является жесткое защемление нагелей в спаренных стальных накладках. В силу жесткой заделки нагеля по шву сопряжения следует ожидать повышения несущей способности соединения, как за счет повышения изгибной жесткости нагеля, так и местного смятия древесины под нагелем (рис. 2).

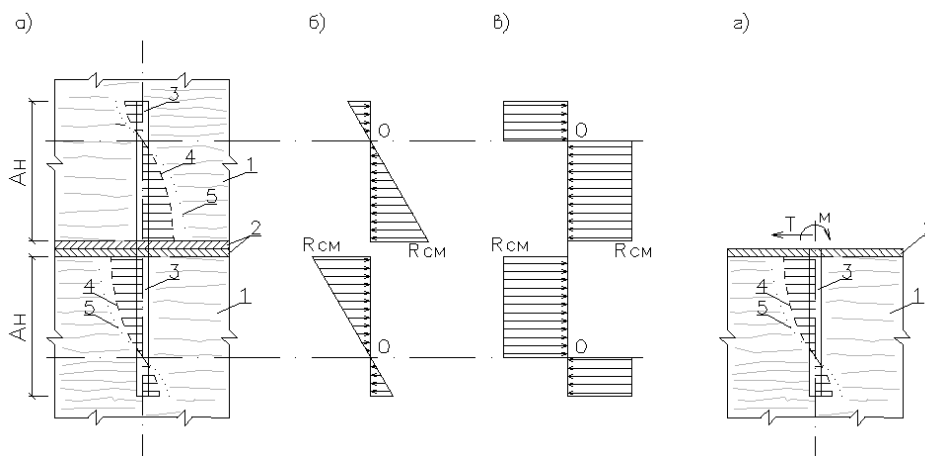


Рис. 2. Схема работы цилиндрического нагеля, защемленного в стальной пластин: а – деформация смятия древесины в отверстии; б – эпюры напряжений в упругой стадии; в – эпюры напряжений смятия в нагельном гнезде в предельной стадии; г – условия равновесия нагеля в гнезде; 1 – древесина прогона; 2 – стальная пластина; 3 – стальной цилиндрический нагель; 4 – эпюра смятия гнезда в упругой стадии; 5 – тоже в предельной стадии

Известно, что работа древесины на смятие в отверстии характеризуется неравномерным распределением напряжений смятия по окружности отверстия. Это приводит к снижению сопротивления древесины при смятии в отверстии вдоль волокон и обуславливает появление расклинивающих усилий. По опытным данным ЦНИИСК напряжения на смятие нагельного гнезда вдоль волокон при кратковременном действии нагрузки для древесины сосны оценены в  $240 \text{ кг/см}^2$  или  $0,8R_{ds}$ .

Что касается учета влияния заземления нагелей в стальных накладках, то данное соединение может быть сопоставимо с жесткой заделкой нагелей в железобетонной плите.

Исследования работы цилиндрических стальных нагелей в деревобетонной конструкции под действием статической нагрузки были выполнены В.И. Кулишом [9]. В основе теоретических исследований были приняты следующие допущения:

Несущая способность нагельных соединений со стальными цилиндрическими нагельными из условий скалывания и раскалывания древесины может быть обеспечена при условии соблюдения норм их расстановки (табл. 69 СН 200-62; табл. 10.10 СНиП 2.05.03-84).

За предельное состояние принимается состояние, когда напряжения смятия под нагелем в гнезде древесины по всей длине достигает предела прочности при смятии или, когда несущая способность изгибу нагеля исчерпывается полностью с образованием шарнира пластичности в корне консоли по контактному слою.

Распределение напряжений в древесине вдоль нагеля (гнезда нагеля) условно принято в виде эпюры из прямоугольников, упруго-изгибаемая ось нагеля прямолинейна, заделка нагеля жесткая.

Поперечные силы, силы трения по контактному слою и моменты, стремящиеся оторвать продольные элементы составных балок друг от друга, не учитываются.

Предельное значение величины несущей способности нагельного соединения по смятию ограничено предельными деформациями смещения в уровне контактного слоя соединяемых элементов –  $0,1 \text{ см}$ .

Экспериментальные исследования В.И. Кулиша позволили оценить расчетную несущую способность нагельного соединения

(в  $\text{кг/см}^2$ ) при ограничении взаимного сдвига деревянного и бетонного элементов величиной  $0,1 \text{ см}$  выражением

$$[T_n] = 90 \cdot a_d \cdot d_n, \quad (1)$$

жесткость нагельного соединения выражением

$$\chi = \frac{[T_n]}{0,1 \cdot a_n}, \quad (2)$$

а расчетное значение модуля упругости нагеля на сдвиг выражением

$$G_n = 900 \cdot a_d \cdot d_n \quad (3)$$

где  $a_d$  - глубина заделки нагеля в древесине;  $d_n$  - диаметр нагеля  $a_n$  - расстояние между нагельными.

Экспериментальными исследованиями при длительном действии нагрузки П. А. Дмитриева [10] установлено, что нарастание деформаций смятия прекратилось под нагрузками  $0,5R_{ds}$  у всех образцов. В результате были получены расчетные сопротивления для сосны в отверстии для нагелей диаметром от 6 до 25 мм в пределах от 110 до 85  $\text{кг/см}^2$ , соответственно. Сопоставимые результаты двух независимых исследований [9,10] указывают на возможность практического использования выражений (1-3) в расчетах.

Аналогичный вывод был принят за основу А.В. Шумахером [11] при определении жесткости нагельных соединений и воздействии многократно-повторной нагрузки.

#### **Расчет составных балок с учетом ограничения взаимного сдвига в уровне контакта соединяемых элементов**

В основу предлагаемого метода положена теория составных стержней Ржаницына А.Р. с использованием метода сил [11], где составной стержень со связями сдвига и поперечными связями представлен внутренне статически неопределимой балкой. Оба вида связей непрерывно распределены по длине шва. В качестве основной системы принята система стержней, лишенная связей сдвига, действие которых заменено функциональными неизвестными  $\tau_i$ . Благодаря наличию абсолютно жестких поперечных связей данная система эквивалентна совместно изгибаемым стержням по одной и той же кривой изгиба. Расчет сводится к решению системы

дифференциальных уравнений относительно сдвигающих усилий в швах.

В отличие от составных стержней с равномерным и непрерывным распределением связей сдвига составные прогоны из бревен оснащены соединениями из групп глухих цилиндрических нагелей, жестко защемленных в стальных пластинах

на восприятие определенного сосредоточенного сдвига. В этом случае определение неизвестных усилий в связях сдвига сводится к решению системы линейных уравнений, составленных из условия ограничения предельных сдвигов величиной 0,1 см.

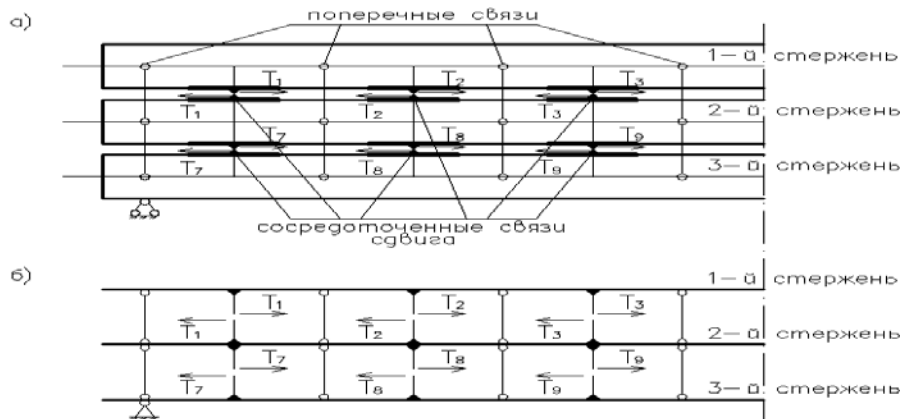


Рис. 3. Основная система составного прогона с сосредоточенными связями сдвига:  
 а – из отдельных совместно изгибаемых бревен;  
 б – приведенная к осевым линиям

Основная система составного прогона из трех бревен с сосредоточенными связями сдвига приведена на рис.3,а, приведенная к осевым линиям – на рис. 3,б. На рисунке показана только левая часть основной системы. С учетом симметрии конструкции правая часть системы зеркально симметрична левой, включая направления неизвестных усилий в связях сдвига.

Общая жесткость на изгиб составного прогона, лишенного связей сдвига, равна сумме жесткостей составляющих стержней (бревен):

$$\sum_{i=1}^{n+1} E_i J_i = \sum E J \quad (4)$$

Систему линейных уравнений эквивалентности основной и заданной систем представим в матричной форме:

$$A \vec{T} + D_F + D_D = 0 \quad (5)$$

Здесь

$$A = \begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{vmatrix}, \quad \vec{T} = \begin{vmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_m \end{vmatrix}, \quad \vec{\Delta}_F = \begin{vmatrix} \Delta_{1F} \\ \Delta_{2F} \\ \dots \\ \Delta_{nF} \end{vmatrix},$$

где **A** – матрица коэффициентов канонических уравнений,  $\vec{T}$  – вектор неизвестных усилий сдвига,  $\vec{\Delta}_F$  – вектор грузовых перемещений, **D<sub>D</sub>** – предельно допустимый сдвиг.

Усилия в связях сдвига вызывают моменты и продольные силы в составляющих стержнях. Полный изгибающий момент в системе будет равен сумме изгибающих моментов в сечениях каждого составляющего стержня основной системы от внешней нагрузки плюс сумма моментов от усилий в связях сдвига:

$$M = M_0 + \sum_{i=1}^{n+1} M_i^T, \quad (6)$$

где n – число швов стержня.

Продольные напряжения определяются по формуле:

$$\sigma_x = N_i/A_i + M_i \cdot y_i/J_i. \quad (7)$$

**Пример расчета составного прогона пролетного строения длиной 7,5 метров в составе восьми прогонов из трех бревен.**

Отброшенные связи в швах между бревнами (рис. 3, б) заменены парными неизвестными усилиями сдвига  $T_i$ . Расстояние между центрами связей принято равным 1,0 м на расстоянии 0,5 м от опорного сечения симметрично с каждой стороны опор. Исходные данные приведены на рисунке 4.

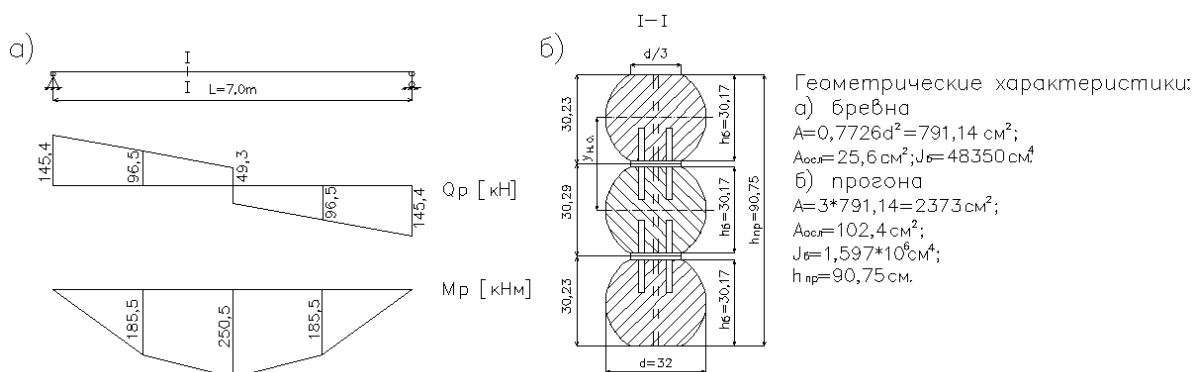


Рис. 4. Исходные данные для расчета прогона: а – эпюры расчетных усилий; б – геометрические характеристики прогона

Определение коэффициентов канонических уравнений и свободных членов производим по известным формулам Мора:

$$\delta_{ik} = \sum_0^l \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k}{EJ} dx = (\bar{M}_i) \times (\bar{M}_k),$$

$$\Delta_{iF} = \sum_0^l \frac{\bar{M}_i M_F}{EJ} dx = (\bar{M}_i) \times (M_F) \quad (8)$$

Эпюры единичных моментов от парных неизвестных в уровне шва между 1-м и 2-м

стержнями и грузовых моментов в основной системе приведены на рисунке 5.

Ниже приводятся матрица **A** и столбец  $(\bar{\Delta}_F + D_D)$  с численными значениями единичных коэффициентов и свободных членов системы уравнений (5) для рассматриваемого прогона, где значения  $\delta_{ik}$  следует умножить на  $10^{-5}$ ,  $D_D$  принять равным 0,1 см.

$$A = \begin{pmatrix} 1,757 & 0,952 & 0,281 & 0,661 & 0,929 & 0,749 & 0,879 & 0,476 & 0,140 & 0,330 & 0,465 & 0,375 \\ 0,952 & 1,086 & 0,415 & 0,527 & 0,590 & 0,929 & 0,476 & 0,543 & 0,207 & 0,263 & 0,295 & 0,465 \\ 0,281 & 0,415 & 0,684 & 0,232 & 0,527 & 0,661 & 0,140 & 0,207 & 0,342 & 0,116 & 0,263 & 0,330 \\ 0,661 & 0,527 & 0,232 & 0,684 & 0,415 & 0,281 & 0,330 & 0,263 & 0,116 & 0,342 & 0,207 & 0,140 \\ 0,929 & 0,590 & 0,527 & 0,415 & 1,086 & 0,952 & 0,465 & 0,295 & 0,263 & 0,207 & 0,543 & 0,476 \\ 0,749 & 0,929 & 0,661 & 0,281 & 0,952 & 1,757 & 0,375 & 0,465 & 0,330 & 0,140 & 0,476 & 0,879 \\ 0,879 & 0,476 & 0,140 & 0,330 & 0,465 & 0,375 & 1,757 & 0,952 & 0,281 & 0,661 & 0,929 & 0,749 \\ 0,476 & 0,543 & 0,207 & 0,263 & 0,295 & 0,465 & 0,952 & 1,086 & 0,415 & 0,527 & 0,590 & 0,929 \\ 0,140 & 0,207 & 0,342 & 0,116 & 0,263 & 0,330 & 0,281 & 0,415 & 0,684 & 0,232 & 0,527 & 0,661 \\ 0,330 & 0,263 & 0,116 & 0,342 & 0,207 & 0,140 & 0,661 & 0,527 & 0,232 & 0,684 & 0,415 & 0,281 \\ 0,465 & 0,295 & 0,263 & 0,207 & 0,543 & 0,476 & 0,929 & 0,590 & 0,527 & 0,415 & 1,086 & 0,952 \\ 0,375 & 0,465 & 0,330 & 0,140 & 0,476 & 0,879 & 0,749 & 0,929 & 0,661 & 0,281 & 0,952 & 1,757 \end{pmatrix} \bar{\Delta}_F = \begin{pmatrix} 1,21 \\ 0,97 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,97 \\ 1,21 \\ 1,21 \\ 0,97 \\ 0,58 \\ 0,58 \\ 0,97 \\ 1,21 \end{pmatrix}$$

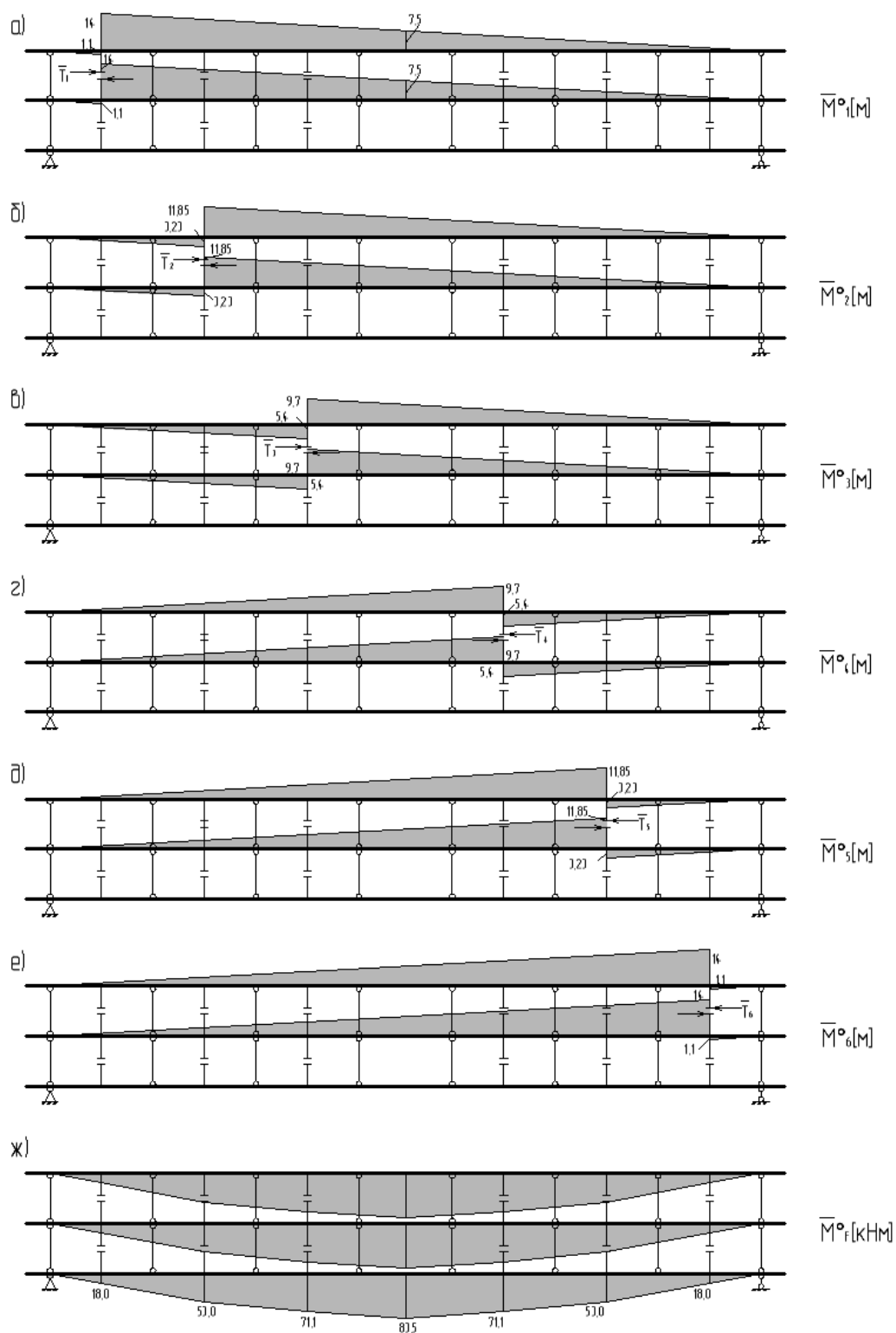


Рис. 5. Эпюры единичных моментов(а-е) и грузовых моментов (ж) в основной системе прогона. Примечание: эпюры единичных моментов от сдвигов во втором шве не показаны ввиду их полной идентичности с эпюрами для шва 1-2

В результате решения системы уравнений получим следующие значения усилий сдвига:  $T_1 = T_6 = T_7 = T_{12} = 225 \text{ кН}$ ;  $T_2 = T_5 = T_8 = T_{11} = 61,7 \text{ кН}$ ;  $T_3 = T_4 = T_9 = T_{10} = 127,6 \text{ кН}$ .

В итоге с учетом выражения (6) построены эпюры расчетных изгибающих моментов и продольных сил в составляющих составной прогон элементах-бревнах (рис.6).

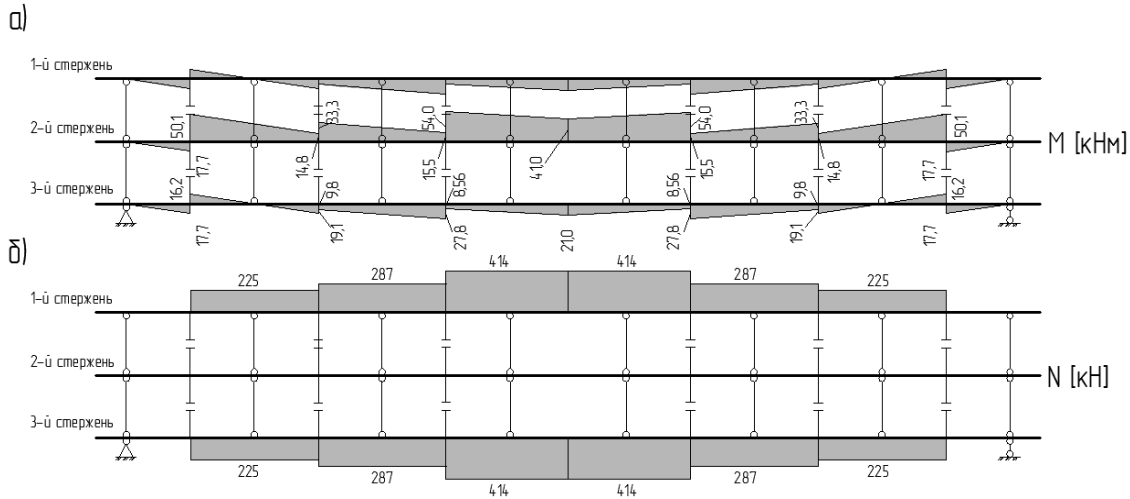


Рис. 6. Эпюры расчетных усилий в составном прогоне

Нормальные напряжений в расчетных сечениях середины пролета согласно (7):

- в фибрах верхнего бревна

$$\sigma_{\epsilon} = -\frac{414 \times 10^2}{791} - \frac{21 \times 10^4}{48350} \times 15,08 = -117,8 \text{ кГс/см}^2;$$

$$\sigma_{\eta} = -\frac{414 \times 10^2}{791} + \frac{21 \times 10^4}{48350} \times 15,08 = 13,2 \text{ кГс/см}^2$$

- тоже среднего бревна

$$\sigma_{\epsilon, \eta} = \pm \frac{41 \times 10^4 \times 15,08}{48350} = \pm 127,87 \text{ кГс/см}^2 \leq R_{\text{дб}} = 15,7 \text{ МПа}$$

- нижнего бревна

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{414 \times 10^2}{791} - \frac{21 \times 10^4}{48350} \times 15,08 = -13,2 \text{ кГс/см}^2$$

$$\sigma_{\eta} = \frac{414 \times 10^2}{791} + \frac{21 \times 10^4}{48350} \times 15,08 = 117,8 \text{ кГс/см}^2$$

Таким образом, условие прочности для сечения в середине пролета выполняется. Некоторое превышение нормальных напряжений над расчетным сопротивлением отмечается в среднем бревне в местах установки симметричных связей  $T_3$  и  $T_9$ ,  $T_4$  и  $T_{10}$ :

$$\sigma_{\epsilon, \eta} = \pm \frac{54 \times 10^4 \times 15,08}{48350} = \pm 168,4 \text{ кГс/см}^2 \geq R_{\text{дб}} = 15,7 \text{ МПа}$$

Данное отклонение связано со скачкообразным характером распределения моментов на эпюре от действия усилий сдвига. На самом деле, передача изгибающего момента от сдвигающих усилий

при данной конструкции соединений проводится равномерно без скачков.

#### Заключение

Применение древесины в строительстве мостов в США, Канаде, Скандинавских странах, не испытывающих недостатка в стали и цемента, может быть объяснено только экономической эффективностью этого природного материала и целым рядом его преимуществ.

В нашей стране, несмотря на лесное богатство, развитое лесозаготовительное производство, относительно низкую стоимость древесины, применение ее в мостовых конструкциях практически прекращено.

На волне массового внедрения сборного железобетона в строительство, в 70-е годы прошлого столетия деревянные мосты были отнесены к отряду временных и подлежащих замене на капитальные из стали и железобетона. Выполнить эту задачу частично удалось только на федеральных дорогах. На остальных дорогах, особенно в отдаленных районах страны, все проблемы дорожного строительства легли на плечи местной администрации, которая при отсутствии средств пытается сохранять устаревшие деревянные мосты, с трудом обеспечивая проезд местного транспорта.

Долговечность древесины, как материала, доказана жизнью, ее следует обеспечивать конструктивными приемами и содержанием, а не исключать из мостостроения под предлогом временных конструкции. Переход

на новые временные нагрузки не является основанием для прекращения строительства деревянных мостов. Если процесс воспроизводства клееной древесины требует определенных затрат и времени, то производство традиционных конструкций пролетных строений можно развивать и совершенствовать. Примером тому могут служить построенные в последние годы в Омской области из местных материалов мосты с дощато-гвоздевыми пролетными строениями, стоимость которых в полтора раза ниже железобетонных.

Статья посвящена внедрению в практику проектирования и строительства мостов на дорогах IV-V категории простых конструкций из бревен, бруса и досок под современные (автомобильные и колесные) нагрузки. Рассматриваются балочные пролетные строения в виде составных прогонов из бревен для перекрытия пролетов более 8-10 метров. Представленный материал позволяет сделать следующие выводы:

Составные прогоны из бревен с соединениями из цилиндрических нагелей, защемленных посредством сварки в стальных пластинах, позволяют проектировать балочные деревянные мосты с пролетами более 8 метров под современные тяжелые нагрузки, что расширяет область применения деревянных мостов в настоящее время.

Предлагаемый метод расчета составных стержней выполнен в развитие метода Ржаницына А.Р. и позволяет с высокой точностью учесть податливость связей сдвига при дискретном их размещении.

Мосты с составными прогонами из бревен не требуют дорогих строительных материалов и оборудования и могут успешно возводиться с использованием местной рабочей силы.

### Библиографический список

1. Уткин, В.А. Автodorожные деревянные мосты нового поколения : монография / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2004. – 56 с.
2. Уткин, В.А. Опыт внедрения новой конструкции дощато-гвоздевого пролетного строения в дорожном строительстве Омской области / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, П.Н. Кобзев // Дороги и мосты. – М. : Росдорнии. – 2008. – Вып. 19/1. – С. 162–171.
3. Уткин, В.А. О применении древесины для строительства мостов / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, Б.В. Казанцев, М.Ю. Каретников // Дороги и мосты. – М. : Росдорнии. – 2014. – Вып. 32/2. – С. 127–142.
4. Пролетное строение с составными прогонами из бревен : свидетельство на полезную модель № 29938 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, М.Ю.

Каретников; ООО Проектно-исследовательская фирма «ПИК» ; зарегистрирован 10.06.2003.

5. Кулиш, В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонно плитой / В.М. Кулиш. – М. : Транспорт, 1979.

6. Дмитриев, П.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Специальный курс. Автodorожные и пешеходные мосты / П.А. Дмитриев. – Оренбург : ИПК «Газпромпечат», 2002.

7. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-25-80). – М., 2011.

8. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84). – М., 2011.

9. Кулиш, В.И. Исследование работы и расчет на прочность клееных деревянных конструкций балочных мостов, объединенных с железобетонной плитой : дис. ... / Кулиш В.И. – Хабаровск, 1964.

10. Дмитриев, П.А. Исследование прочности древесины на смятие в отверстиях при кратковременном и длительном действии нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1965. – №12. – С. 165–173.

11. Шумахер, А.В. Исследование выносливости клееных балок, объединенных с железобетонной плитой : дис. ... / Шумахер А.В. – Омск, 1967.

12. Ржаницын, А. Р. Строительная механика : учебное пособие / А.Р. Ржаницын. – М. : Высшая школа, 1982. – 400 с.

### Reference

1. Utkin V.A., Kobzev P.N. Avtodorochnye derevyannye mosty novogo pokoleniya: Monografiya. – Омск: Izd-vo SibADI, 2004. – 56s.
2. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. Opyt vnedreniya novoy konstruktсии doshato-gvozdevogo proletnogo stroeniya v dorozhnom stroitel'stve Омской области / V.A. Utkin, V.I. Puzikov, P.N. Kobzev //Dorogi i mosty. – М.: Rosdornii. – 2008.- Вып. 19/1. – С. 162-171.
3. Utkin V.A. O primeneniі drevesiny dlya stroitel'stva mostov /V. A. Utkin, V.I. Puzikov, B.V. Kazantsev, M.Yu. Karetnikov //Dorogi i mosty. – М.: Rosdornii. – 2014. – Вып.32/2. – С. 127-142.
4. Proletnoe stroenie s sostavnymi progonami iz bremen: svidetel'stvo na poleznuyu model' № 29938 / V.A. Utkin, V.I. Puzikov, M.Yu. Karetnikov; ООО Proektно-issledovatel'skaya firma «PIK»; zaregistrirovан 10.06.2003.
5. Kulish V.M. Kleenye derevyannye mosty s chelezobetonno plitoy. – М.: Transport, 1979.
6. Dmitriev P.A. Konstruktсии iz dereva i plastmass. Spetsial'nyy kurs. Avtodorochnye i peshexod-nye mosty. – Orenburg: IPK «Gazprompechat» 2002.
7. SP 64.13330.2011 Derevyannye konstruktсии (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-25-80) M. 2011.
8. SP 35.13330.2011 Mosty i truby (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.03-84) M. 2011.
9. Kulish V.I. Issledovanie raboty i raschet na prochnost' kleenykh derevyannykh konstruktсий balochnykh mostov, ob"edinennykh s chelezobetonnoy plitoy. Dissertatsiya. Хабарovsk, 1964.
10. Dmitriev P.A. Issledovanie prochnosti drevesiny na smyatіe v otverstii pri kratkovremennom

i dlitel'nom deystvii nagruzki // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura, 1965. - № 12. – s. 165-173.

11. SHumaxer A.V. Issledovanie vynoslivosti kleenyykh balok, ob'edinennykh s chelezobetonnoy plitoy. Dissertatsiya. Omsk, 1967.

12. Rchanitsyn A. R. Stroitel'naya mexanika: Uchebnoe posobie. – Moskva: «Vysshaya shkola», 1982.– 400 s.

### STUDY OF CARRYING CAPACITY OF COMPOUND GIRDERS MADE OF LOGS WITH BOUNDINGS ON DEAF CYLINDRICAL NOG EMBEDDED IN STEEL PLATES

V.A .Utkin, N.V Sinigovskaya

**Abstract.** This article is devoted to the research developed at the Department of bridge span structures with composite girders made of logs, united to work together through the deaf cylindrical pegs embedded in steel plates as well as the development of methods of their calculation and perfection of structural and technological forms of superstructures. The peculiarity of the considered nog compounds is rigid clamping nogs in the coupled steel linings. By virtue of tough embedment of nogs in the seam coupling should expect an increase in carrying capacity of the connection due to the bending stiffness of the nog and due to local buckling under the wood nog. To account for the compliance of the considered nog connection a new method of calculation is developed. Offered research shows effectiveness of the decisions.

**Keywords:** composite girders made of logs, deaf cylindrical nogs, elastic compliance, stress of buckling of the nog socket, bearing capacity of the connection.

*Уткин Владимир Александрович (Россия, г. Омск) - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: prof.utkin@mail.ru).*

*Синиговская Наталья Викторовна, (Россия, г. Омск) - магистрант кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: natasha.sinigovscaya@yandex.ru).*

*Utkin Vladimir Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) - doctor of technical sciences, professor of the Department "Bridges and tunnels" State Automobile and Highway Academy "SibADI", (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: prof.utkin@mail.ru).*

*Sinigovskaya Natalya Viktorovna (Russian Federation, Omsk) - of the Department "Bridges and tunnels" State Automobile and Highway Academy "SibADI", (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: natasha.sinigovscaya@yandex).*



# РАЗДЕЛ IV

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 004.932.2

### МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНВАРИАНТНОГО СРАВНЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАМКНУТЫХ КРИВЫХ

Д.Б. Абрамов, С.О. Баранов, С.В. Лейхтер  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Рассмотрена задача оценивания нормы расстояния между двумя замкнутыми гладкими кривыми при распознавании образов. Описаны диффеоморфные преобразования кривых на основе модели больших деформаций. Для оценивания нормы расстояния между двумя замкнутыми кривыми формируется функционал, соответствующий норме расстояния между двумя кривыми, и уравнение эволюции диффеоморфных преобразований. Предложен алгоритм решения уравнения диффеоморфного преобразования, построенный на основе метода PSO, который позволяет значительно сократить объем вычислительных операций по сравнению с градиентными методами решения. Разработанные в работе алгоритмы могут использоваться в биоинформатике и биометрических системах, классификации изображений и объектов, системах машинного зрения, при распознавании образов и объектов, системах трекинга.

**Ключевые слова:** распознавание образов, машинное зрение, инвариантность, диффеоморфные преобразования, биоинформатика, метод PSO.

#### Введение

Распознавание объектов по изображениям независимо от их расположения, ориентации, масштаба и перспективы – является важным направлением информационных технологий в области распознавания образов и машинного зрения. В задачах математической морфологии важной является задача сопоставления близких форм, а не точное определение каждой формы; деформация сложной фигуры может привести к пониманию формы. Изучение формы и изменчивости изображения в рамках теории распознавания образов можно свести к оцениванию преобразований, которые последовательно деформируют изображения. Вычисление многомерных нежестких преобразований изображений привело к развитию стратегии эластичного сравнения, при этом преобразование линеаризуется относительно системы

координат исходного изображения и генерируется векторное поле смещений. Стоимость преобразования измеряется функционалом – нормой разности между преобразованным исходным изображением и эталонным изображением; оптимальному преобразованию этого функционала соответствует векторное поле смещений с наибольшей гладкостью. Измерение гладкости достигается указанием нормы в пространстве векторных полей с использованием дифференциального оператора. Одним из ограничений данного подхода является то, что не гарантируется биективность преобразования. Представляет интерес вычисление диффеоморфных преобразований, которые сами являются гладкими, но и обратные преобразования сохраняют свойства гладкости. Модель больших деформаций для вычисления преобразований изображений [0] гарантирует, что преобразования, вычисленные между

изображениями, диффеоморфны. При этом преобразование исходных точек области в требуемые формируется на основе зависящего от времени векторного поля скоростей, которое определяется системой обыкновенных дифференциальных уравнений (ODE).

В работе рассмотрена задача оценивания нормы расстояния между двумя замкнутыми гладкими кривыми при распознавании 2D-образов. Рассмотрены действия групп переноса, вращения и масштабирования на 2D замкнутую кривую, инварианты к действию этих групп. Для оценивания нормы расстояния между кривыми положение кривых нормализуется центрированием, приведением главных осей инерции изображения к осям системы координат и приведением к единице площади замкнутой кривой соответствующим масштабированием. Для оценивания нормы расстояния между двумя замкнутыми кривыми формируется функционал, соответствующий норме расстояния между двумя кривыми, и уравнение эволюции диффеоморфных преобразований. Предложен алгоритм решения уравнения диффеоморфного преобразования, построенный на основе метода PSO, который позволяет значительно сократить объем вычислительных операций по сравнению с градиентными методами решения.

Разработанные в работе алгоритмы могут использоваться в биоинформатике и биометрических системах, классификации изображений и объектов, системах машинного зрения, нейровизуализации, при распознавании образов и объектов, системах трекинга. Алгоритм оценивания нормы расстояния между замкнутыми кривыми методом диффеоморфного преобразования может распространен на пространственные объекты (кривые, поверхности, многообразия).

**Построение инвариантов переноса, вращения и масштабирования**

Для нахождения инвариантов при распознавании образов необходимо найти группу  $G$ , действующую на множестве аргументов функции изображения. Изображение объекта может быть описано функцией  $f(x, y) = 1$ , если  $(x, y) \in S \subset \mathbf{R}^2$  ( $f(x, y) = 0$ , иначе), где  $(x, y)$  – декартовы координаты изображения с границей  $c = \partial S$  множества  $S$ . Действие группы переноса на функцию  $f(x, y)$  в направлении:

оси  $X : g_{\varepsilon_x} f(x, y) = f(x + \varepsilon_x, y)$ ;

оси  $Y : g_{\varepsilon_y} f(x, y) = f(x, y + \varepsilon_y)$ .

Действие группы масштабирования на функцию  $f(x, y)$ :

$$g_{\varphi_s} f(x, y) = f((1 + \varphi_s)x, (1 + \varphi_s)y).$$

Действие группы вращения (поворот на угол  $\alpha$ ):

$$g_\alpha f(x, y) = f(x \cos \alpha - y \sin \alpha, x \sin \alpha + y \cos \alpha).$$

Инвариантность по отношению к группе переноса может быть обеспечена нахождением центра  $(x_0, y_0)$  с последующим переносом. Для действия группы переноса на функцию 2D-изображения нахождение центра изображения сводится к методу моментов [2]. Сформируем моменты порядка  $(p + q)$

2D-функции  $f(x, y)$ :

$$m_{p,q} = \int_S x^p y^q f(x, y) dS; p, q \in \mathbf{Z}^+,$$

например, площадь изображения:

$$m_{0,0} = \int_S f(x, y) dS.$$

Центр  $(x_0, y_0)$  функции изображения  $f(x, y)$  определяется из соотношений:

$$x_0 = m_{1,0} m_{0,0}^{-1}; \quad y_0 = m_{0,1} m_{0,0}^{-1}.$$

Центрированная функция  $f(x + x_0, y + y_0)$  является инвариантной по отношению к действию группы переносов. Для нормализации изображения перенесем центр  $f(x, y)$  в начало координат.

Нормализованные моменты:  $f(x + x_0, y + y_0)$  являются инвариантами масштабирования. Подействуем на  $f(x, y)$  таким элементом группы масштабирования  $g_{\varphi_s}$ , что значение будет  $F = 1$ .

Для выделения определенной ориентированной системы координат построим тензор изображения:

$$J = \begin{pmatrix} m_{2,0} & -m_{1,1} \\ -m_{1,1} & m_{0,2} \end{pmatrix}.$$

При повороте объекта угол  $\alpha$  с матрицей направляющих косинусов  $T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$  тензор инерции изменяется по закону:  $J' = T^T \cdot J \cdot T$ . При повороте объекта на угол:  $\alpha = 0,5 \cdot \arctg(2J_{xy} (J_{yy} - J_{xx})^{-1})$ , тензор инерции будет иметь диагональный

вид  $J^d = \text{diag}(J_x, J_y) \in \mathbf{R}^{2 \times 2}$ , где  $J_x, J_y$  – собственные числа тензора инерции  $J$ . При  $J_x \neq J_y$  можно провести такое преобразование координат:  $(x' \ y')^T = T(x \ y)^T$  – формированием поворота  $T$ , что оси  $X, Y$  будут направлены по главным осям тензора инерции 2 D-изображения.

Будем рассматривать  $C^1$  замкнутую кривую – как непрерывно дифференцируемое отображение  $c: S^1 \rightarrow \mathbf{R}^2; S^1 = \{x \in \mathbf{R}^2 \mid |x|=1\}$ , для которого производная  $c'(\theta)$  существует для любого значения  $a$  и  $c'(\theta) \neq 0; \forall \theta \in S^1$ .

Для нормализации изображения необходимо решить задачу нахождения центра изображения и выделенной ориентации группы вращения с последующим центрированием и масштабированием изображения.

**Действие элементов групп на кривые**

Рассмотрим действие матричных групп на кривые можно представить:  $A \rightarrow A \circ c$ , где  $A: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^2$  действие матричной группы в  $\mathbf{R}^2$ . Приведем примеры матричных групп [3].

- $GL(2)$  – линейная группа матриц  $GL(2) = \{A \in \mathbf{R}^{2 \times 2}; \det A \neq 0\}$  с законом композиции – умножением матриц.
- $SO(2) \in GL(2)$  – специальная ортогональная группа может быть представлена матрицами  $SO(2) := \{A \in \mathbf{R}^{2 \times 2} \mid AA^T = A^T A = \text{Id}; \det(A) = 1\}$ .
- Группа масштабирования может быть представлена диагональными матрицами  $A = \begin{pmatrix} \rho & 0 \\ 0 & \rho \end{pmatrix}, \rho \in \mathbf{R}^+$ .
- $SE(2)$  – специальная группа Евклида определяется полупрямым произведением  $SO(2) \otimes \mathbf{R}^2$ .

Дифференцируемая кривая в  $GL(2)$  это функция:  $g_t: (a, b) \rightarrow GL(2)$ , для которых существует производная  $dg_t/dt; \forall t \in (a, b)$ . Уравнение первого порядка для элемента

матричной группы:  $dg_t/dt = A \cdot g_t; g_{t=0} = \text{Id}$ , где  $A \in \mathbf{R}^{2 \times 2}$  - матрица с постоянными элементами, имеет решение:  $g_t = \exp(tA)$ , которое обладает групповыми свойствами.

Кривая, соединяющая элементы  $g_0, g_1 \in GL(2)$ , минимизирующая функционал:

$$\int_0^1 \|v_t\|_v^2 dt = \int_0^1 \langle Lv_t, v_t \rangle_2 dt; L \in \mathbf{R}^{2 \times 2}, \quad (1)$$

и удовлетворяющая уравнению  $dg_t/dt = v_t \cdot g_t$ , является решением уравнения Эйлера [4]:

$$d(Lv_t)/dt = (Lv_t)v_t^* - v_t^*(Lv_t). \quad (2)$$

**Группа диффеоморфных преобразований**

Будем считать, что замкнутые кривые принадлежат открытому подмножеству  $X \subset \mathbf{R}^2$ . Диффеоморфизм  $X$  является обратимым непрерывно дифференцируемым преобразованием  $X \rightarrow X$ ; существует тождественное отображение (Id – композиция прямого и обратного диффеоморфизма). Множество диффеоморфизмов  $\text{Diff}(X)$  определяют структуру группы. Диффеоморфизмы изменяют количественные характеристики объектов, которые определены на множестве  $X$ . Матричные группы диффеоморфизмов имеют конечную размерность и кодируется с помощью параметров матриц.

Рассмотрим группу бесконечномерных диффеоморфизмов, действующих на ограниченном множестве  $X \subset \mathbf{R}^2$ . Определим диффеоморфизм  $g: X \rightarrow X$  с обратным элементом  $g^{-1}$  и определим группу преобразований  $G$ , как подгруппу диффеоморфизмов, с законом композиции  $\circ: g \circ g' = g(g') \in G$ . Для формирования диффеоморфных отображений диффеоморфизмы рассматриваются как потоки ODE. Предположим, диффеоморфизмы  $g_t(x); x \in X$  эволюционируют во времени  $t \in [0, 1]$  с векторным полем  $v_t(\cdot)$ :

$$dg_t(x)/dt = v_t(g_t(x)); g_0(x) = x. \quad (3)$$

Формированием требуемого векторного поля  $v_t(\cdot)$  в любой момент времени  $t \in [0..1]$  можно добиться такого действия элементов группы

$g_t(\cdot)$  на точки пространства  $X \subset \mathbf{R}^2$ , что  $g_0(x) = x; g_1(x) = y; \forall x, y \in X$ .

Допустим, что задана норма  $\|v_t\|_V^2 = \langle Lv_t, v_t \rangle_2 = \int_S (Lv_t)^* v_t dS$ , где

$\alpha_t = Lv_t; t \in [0, 1]$  – момент векторного поля. Для  $g_t \in G$  существуют скорости  $v_t(g_t) = dg_t/dt$ , минимизирующие функционал:

$$\Phi(v_t) = \int_0^1 \|v_t\|_V^2 dt = \int_0^1 \langle Lv_t, v_t \rangle_2 dt, \quad (4)$$

на траектории, соединяющей элементы группы  $g_0 = g|_{t=0}$  и  $g_1 = g|_{t=1}$ . Представим обратную связь между скоростью  $v_t$  и моментом  $\alpha_t$  в форме:

$$v_t = L^{-1}\alpha_t = K\alpha_t. \quad (5)$$

Для дифференциального оператора:  $L = \text{id} - a\nabla^2$  в  $\mathbf{R}^2$  – обратный оператор  $K = L^{-1}$  аппроксимируем функцией:

$$K(x) = \beta e^{-\gamma^{-1}\|x\|^2}. \quad (6)$$

Уравнения эволюции диффеоморфизмов Эйлера-Пуанкаре можно получить решением уравнений вариационной задачи с функционалом  $\Phi(v_t)$  [5]:

$$d\alpha_t/dt = -(D\alpha_t)v_t - \alpha_t \nabla v_t - (Dv_t)^T \alpha_t, \quad (7)$$

где  $Df = (\partial f_i / \partial x_j); i, j = 1, 2$ .

Если объектами являются точечные множества, то векторные поля в точках  $x_t = (x_1(t), \dots, x_N(t))$  принимают вид:

$$v_t(\cdot) = \sum_{i=1}^N K(\cdot, x_i) \alpha_i.$$

Уравнения вариационной задачи позволяет перемещать объекты вдоль траекторий, которым соответствуют диффеоморфные преобразования. Диффеоморфизмы не позволяют изменить топологию вдоль геодезических траекторий. Неточный вид диффеоморфизмов [6, 7] обеспечивает механизм, который позволяет при эволюции геодезических отклоняться от точных деформаций. В задаче неточного сравнения минимизируемый функционал содержит член, который оценивает точность попадания точек  $g_1(x_n^0); n = 1, \dots, N$  в требуемые позиции  $x_n^1$ :

$$\int_0^1 \|v_t\|_V^2 dt + \sigma^{-2} \sum_{n=1}^N \|x_n^1 - g_1(x_n^0)\|^2, \quad (8)$$

при этом в уравнения Эйлера-Пуанкаре

диффеоморфных преобразований вводится параметр  $\sigma^2$ :

$$dx_k/dt - v_t(x_k) = \sigma^2 \alpha_k; v_t(\cdot) = \sum_{i=1}^N K(\cdot, x_i) \alpha_i; d\alpha_k/dt = -\sum_{i=1}^N \nabla_i K(x_k, x_i) \alpha_i^T \alpha_i, \quad (9)$$

здесь  $\nabla_i K$  представляет собой градиент функции  $(x, y) \rightarrow K(x, y)$  по отношению к первой координате. Примем для оператора  $L$  функцию  $K(x, \cdot)$  в виде:  $K(x, \cdot) = e^{-\gamma^{-1}\|x - (\cdot)\|^2}$ . Тогда:

$$\nabla_i K(x_k, x_i) = -2\gamma^{-1}(x_k - x_i) e^{-\gamma^{-1}\|x_k - x_i\|^2}.$$

#### Решение задачи методом PSO

При решении уравнения (9) необходимо определить краевые условия:

$$\alpha_0 = (\alpha_1(0), \dots, \alpha_N(0)) \quad \text{и} \quad \alpha_1 = (\alpha_1(1), \dots, \alpha_N(1))$$

при известных  $x_0 = (x_1(0), \dots, x_N(0))$  и  $x_1 = (x_1(1), \dots, x_N(1))$ .

Применение градиентных методов решения задачи (9) требует значительное количество вычислительных операций. Для решения этой задачи в работе предлагается применение метода пристрелки (shooting) с использованием алгоритма PSO (particle swarm optimization). Метод пристрелки заключается в нахождении такого начального вектора  $\alpha_0 = (\alpha_1(0), \dots, \alpha_N(0))$ , что значение функционала (8) минимизируется.

Метод PSO основан на имитации поведения роя насекомых и был предложен J. Kennedy в 1995 году [8]. В контексте многопараметрической оптимизации рой (swarm) имеет фиксированный размер; каждая частица первоначально расположена в случайных местах в многомерном пространстве проектирования. Частицы имеют две характеристики: положение и скорость. Положение частицы определяется значением целевой функции. Частицы обмениваются информацией (лучшими позициями) и могут корректировать свои позиции и скорости. Алгоритм метода PSO приведен в приложении.

Пример. Рассмотрим пример диффеоморфного преобразования замкнутой кривой – окружности единичного радиуса (эллипс с эксцентриситетом  $\varepsilon = 0$  и длиной окружности  $2\pi$ ) в отрезок прямой длиной  $\pi$  (эллипс с  $\varepsilon = 1$ ) за единичный период времени. Для этого выберем  $N = 12$  точек на эллипсе, соответствующие параметру  $\theta_i = 2\pi i N^{-1}; i = 1, \dots, N$ . Выберем параметр

уравнения диффеоморфных преобразований:  $\sigma^2 = 10^{-4}$ ; параметр метод PSO:  $\vartheta = 0,7$ ; число частиц: 10. В таблице 1 представлены результаты моделирования диффеоморфных

преобразований точек эллипса от значения эксцентриситета  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon = 1$  для четырех точек (из 12) замкнутой кривой.

Таблица 1 – Результаты моделирования диффеоморфных преобразований

$t$	$x_0^0$	$x_3^0$	$x_6^0$	$x_9^0$	$x_0^0$	$\varepsilon$
0	(0,00; 1,00)	(1,00; 0,00)	(0,00; -1,00)	(-1,00; 0,00)	(0,00; 1,00)	0,000
2	(0,01; 0,77)	(1,41; -0,01)	(-0,01; -0,77)	(-1,43; 0,02)	(0,01; 0,77)	0,840
4	(0,02; 0,55)	(1,83; -0,01)	(-0,02; -0,55)	(-1,84; 0,02)	(0,02; 0,55)	0,954
6	(0,02; 0,36)	(2,22; -0,01)	(-0,02; -0,36)	(-2,22; 0,03)	(0,02; 0,36)	0,987
8	(0,02; 0,18)	(2,56; -0,01)	(-0,02; -0,18)	(-2,54; 0,03)	(0,02; 0,18)	0,998
10	(0,03; 0,00)	(2,85; -0,02)	(-0,03; 0,00)	(-2,82; 0,05)	(0,03; 0,00)	1,000
	$x_0^1$	$x_3^1$	$x_6^1$	$x_9^1$	$x_0^1$	
$x^1$	(0,00; 0,00)	(3,14; 0,00)	(0,00; 0,00)	(-3,14; 0,00)	(0,00; 0,00)	1,000

В результате получена дисперсия неточности попадания:

$$\sum_{n=1}^{12} \|x_n^1 - g_1(x_n^0)\|^2 = 0,34 \quad \text{и} \quad \text{среднее}$$

отклонение одной точки от цели:

$$\sqrt{12^{-1} \sum_{n=1}^{12} \|x_n^1 - g_1(x_n^0)\|^2} = 0,17.$$

Для повышения точности попадания необходимо увеличить число итераций и количество частиц в методе PSO, а также уменьшить параметр дисперсии  $\sigma^2$ .

#### Заключение

Рассмотрена задача оценивания расстояния между замкнутыми 2D кривыми. Представлены методы нахождения инвариантов к действию групп переноса, вращения и масштабирования на замкнутую кривую, не зависящие от координатного описания изображения. Для оценивания нормы расстояния между двумя замкнутыми кривыми формируется функционал, соответствующий норме расстояния между двумя кривыми, и уравнение эволюции диффеоморфных преобразований, полученное решением вариационной задачи. Предложен алгоритм решения уравнения диффеоморфного преобразования, построенный на основе метода PSO, который позволяет значительно сократить объем вычислительных операций по сравнению с градиентными методами решения. В дальнейшем алгоритм решения уравнения диффеоморфного преобразования будет распространен на 3D объекты: точечные множества, кривые и поверхности. Следует рассмотреть задачу распознавания динамически изменяющихся объектов методом

решения уравнений диффеоморфного преобразования.

#### Метод PSO [9]

Рассмотрим задачу оптимизации (максимизации) без ограничений:

Maximize  $f(\mathbf{X})$ ;  $\mathbf{X}^{(l)} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}^{(u)}$ , где  $\mathbf{X}^{(l)}$ ,  $\mathbf{X}^{(u)}$  – нижняя (lower) и верхняя (upper) границы  $\mathbf{X}$ . Пусть число частиц  $N$ . Процедура PSO применяется с использованием следующих шагов.

1. Сформируем случайное начальное множество  $\mathbf{X}_1(0), \dots, \mathbf{X}_N(0)$ . Положение и скорость частицы  $j$  при итерации  $i$ :  $\mathbf{X}_j^{(i)}, \mathbf{V}_j^{(i)}$ , соответственно. Определим значение целевой функции:

$$f[\mathbf{X}_1(0), \dots, \mathbf{X}_N(0)].$$

2. Найдем скорости частиц. Начальные скорости всех частиц принимаются равными нулю и номер итерации:  $i = 1$ .

3. На итерации  $i$  найдем параметры  $\mathbf{X}_j^{(i)}, \mathbf{V}_j^{(i)}$  частицы  $j$ : (а) Историческое лучшее значение положения  $\mathbf{X}_j^{(i)}$ :  $\mathbf{P}_{best,j}^{(i)}$  с лучшим значением целевой функции  $f[\mathbf{X}_j^{(i)}]$  частицы  $j$  на всех предыдущих итерациях. Историческое лучшее значение положения  $\mathbf{X}_j^{(i)}$ :  $\mathbf{G}_{best}^{(i)}$  с лучшим значением целевой функции  $f[\mathbf{X}_j^{(i)}]$  на всех предыдущих итерациях для всех  $N$  частиц; (б) найдем скорость частицы  $j$  на итерации  $i$ :

$$\mathbf{V}_j^{(i)} = \mathcal{G} \cdot \mathbf{V}_j^{(i-1)} + c_1 r_1 [\mathbf{P}_{best,j} - \mathbf{X}_j^{(i-1)}] + c_2 r_2 [\mathbf{G}_{best} - \mathbf{X}_j^{(i-1)}] + c_3 \cdot r_3 \cdot 2^{-i/40},$$

где  $c_1, c_2, c_3$  – скорости обучения,  $r_1, r_2, r_3 \in [0...1]$  – равномерно случайно распределенные числа; (с) найдем положение частицы  $j$  на итерации  $i$ :  $\mathbf{X}_j^{(i)} = \mathbf{X}_j^{(i-1)} + \mathbf{V}_j^{(i)}$ , и соответствующее значение целевой функции  $f[\mathbf{X}_1^{(i)}, \dots, \mathbf{X}_N^{(i)}]$ .

4. Шаг 3 повторяется с  $i = i + 1$  и новыми значениями  $\mathbf{P}_{best,j}, \mathbf{G}_{best}$ . Процесс продолжается до тех пор, пока все частицы не сойдутся к значению, обеспечивающему оптимум целевой функции.

#### Библиографический список

1. Beg M.F. et al. Computing large deformation metric mappings via geodesic flows of diffeomorphisms // International journal of computer vision. – 2005. – Т. 61. – №. 2. – С. 139–157.
2. Чуканов, С.Н. Преобразование Фурье функции трехмерного изображения, инвариантное к действию групп вращения и переноса / С.Н. Чуканов // Автметрия. – 2008. – Т. 44. – №. 3. – С. 80–87.
3. Baker A. Matrix groups: An introduction to Lie group theory. – Springer Science & Business Media, 2012.
4. Arnold V.I., Khesin B.A. Topological methods in hydrodynamics. – Springer Science & Business Media, 1998.
5. Holm D.D. et al. Geometric mechanics and symmetry: from finite to infinite dimensions. – London: Oxford University Press, 2009.
6. Miller M.I., Troune A., Younes L. Geodesic shooting for computational anatomy // Journal of mathematical imaging and vision. – 2006. – Т. 24. – №. 2. – С. 209–228
7. Bruveris M., Holm D.D. Geometry of image registration: The diffeomorphism group and momentum maps // Geometry, Mechanics, and Dynamics. - Springer New York, 2015. – С. 19–56
8. Kennedy J. et al. Swarm intelligence. – Morgan Kaufmann, 2001.
9. Yang X.S. Nature-inspired optimization algorithms. – Elsevier, 2014.

#### APPLICATION OF PSO FOR SOLVING PROBLEMS OF INVARIANT COMPARISON OF TWO-DIMENSIONAL CLOSED CURVE

D.B. Abramov, S.O. Baranov, S.V. Leykhter

**Abstract.** The problem of estimating the norm of the distance between the two closed smooth curves for pattern recognition is considered. Diffeomorphic transformation curves based on the model of large deformations is described. For estimating of the norm of the distance between two closed curves is formed the functional corresponding normalized distance between the two curves, and the equation of evolution diffeomorphic transformations. An algorithm for solving the equation of diffeomorphic transformation is proposed, built on the basis of PSO, which can significantly reduce the number of computing operations, compared with gradient methods

for solving. The developed algorithms can be used in bioinformatics and biometrics systems, classification of images and objects, machine vision systems, for pattern recognition and object tracking systems.

**Keywords:** invariance, rotation group, translation group, diffeomorphic transformation, PSO method.

#### References

1. Beg M.F. et al. Computing large deformation metric mappings via geodesic flows of diffeomorphisms // International journal of computer vision. – 2005. – Т. 61. – №. 2. – С. 139–157.
2. Chukanov S.N. The Fourier transform of a function of three-dimensional image, invariant to the action of the rotation group and transfer. Avtometriya, 2008, no. 3, pp. 80–87
3. Baker A. Matrix groups: An introduction to Lie group theory. – Springer Science & Business Media, 2012.
4. Arnold V.I., Khesin B.A. Topological methods in hydrodynamics. – Springer Science & Business Media, 1998.
5. Holm D. D. et al. Geometric mechanics and symmetry: from finite to infinite dimensions. – London: Oxford University Press, 2009.
6. Miller M. I., Troune A., Younes L. Geodesic shooting for computational anatomy // Journal of mathematical imaging and vision. – 2006. – Т. 24. – №. 2. – С. 209–228
7. Bruveris M., Holm D. D. Geometry of image registration: The diffeomorphism group and momentum maps // Geometry, Mechanics, and Dynamics. - Springer New York, 2015. - С. 19–56
8. Kennedy J. et al. Swarm intelligence. – Morgan Kaufmann, 2001.
9. Yang X. S. Nature-inspired optimization algorithms. – Elsevier, 2014.

*Абрамов Дмитрий Борисович (Россия, Омск) – аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: abramov@kvarkstudio.ru).*

*Баранов Сергей Олегович (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: baranov@kvarkstudio.ru).*

*Лейхтер Сергей Владимирович (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: leykhter@mail.ru).*

*Abramov Dmitry Borisovich (Omsk, Russian) – postgraduate of the Department "Automated Systems of Information Processing and Management" "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, email: abramov@kvarkstudio.ru).*

*Baranov Sergey Olegovich (Omsk, Russian) – postgraduate of the Department "Automated Systems of Information Processing and Management" "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, email: baranov@kvarkstudio.ru).*

*Leykhter Sergey Vladimirovich (Omsk, Russian) – postgraduate of the Department "Automated Systems of Information Processing and Management" "SibADI" (644080, Omsk, Mira, 5, email: leykhter@mail.ru).*

## РАЗДЕЛ V

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 330.3

### СПЕЦИФИКА АУДИТА ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Е.Е. Голова, Е.А. Дмитренко

ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина,  
г. Омск, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается тема, посвященная рассмотрению особенностей аудита материалов в сельскохозяйственном производстве и выяснены особенности последовательности аудита, исходя из специфики деятельности сельскохозяйственных предприятий. На основе проведенного исследования авторами предлагается последовательность аудита материалов, спецификой которой является использование аналитических процедур на этапе планирования и рабочих документов, отраженных во внутрифирменном стандарте «Документирование аудита материалов».

**Ключевые слова:** аудит, материалы, аналитические процедуры, документирование аудита материалов, сельскохозяйственные организации.

#### Введение

Как отмечает Адамс Р. [1] в сельскохозяйственных организациях в процессе производства потребляется большое количество разнообразных видов сырья и материалов. Основную роль в их сохранности играют бухгалтерский учет и аудит на всех этапах их движения (приобретение, поступление, хранение, отпуск в производство, использование в производстве и на другие цели). Учет материальных ценностей должен обеспечивать контроль за своевременностью снабжения, нормами складских запасов, выявить неучтенные материалы, следить за правильностью использования ресурсов, вовремя представлять необходимую информацию для целей управления. Информация о соблюдении каждым производственным участком (бригадой, фермой) режима экономии материалов должна исходить из системы бухгалтерского учета. Особая роль аудита состоит в том, чтобы правильно и оперативно выявлять имеющиеся производственные резервы экономии материалов, использование которых обеспечит снижение себестоимости продукции и рост прибыли.

**Особенности учета и аудита материалов в сельском хозяйстве**

Согласно Методическим рекомендациям по бухгалтерскому учету материально-производственных запасов (МПЗ) в сельскохозяйственных организациях, утвержденным приказом Министерства сельского хозяйства от 31.01.2003 г. № 26, к бухгалтерскому учету в сельскохозяйственных организациях в качестве МПЗ принимаются активы, кроме перечисленных в ПБУ 5/01 «Учет материально-производственных запасов», также МПЗ принятые организацией на ответственное хранение, переработку (давальческое сырье), учитываемые на забалансовых счетах.

Материалы в сельском хозяйстве по своему составу, структуре и способам использования во многом отличаются от материалов других отраслей экономики.

В состав материальных ценностей сельскохозяйственного производства входят: объекты, характерные только для отрасли сельского хозяйства (семена и посадочный материал, корм для скота (молоко на выпойку телятам), удобрения, средства защиты растений и животных); сфера использования материалов не ограничивается одним каким-либо направлением, это: растениеводство, различные виды животноводства,

промышленное производство и т.д.; результат применения и списания материалов разнообразен: от созданных комплексов из материалов до готовой продукции, на которую списывают материалы.

В сельском хозяйстве также по причине климатических факторов сохраняется сезонность производства (особенно в растениеводстве), что, в свою очередь, ведет к сезонности в работах и оказывает влияние на использование материалов (например, в период уборки необходимость в топливе, таре и запасных частях возрастает, а в период сезонного снижения работ сокращается) [2].

Такое тесное переплетение сельскохозяйственного производства с биологическими процессами непосредственным образом сказывается на эффективном использовании материалов [3].

Ряд особенностей материальных ценностей обусловлен различной природой отраслей хозяйства (растениеводство, животноводство, вспомогательное производство и т.д.), а следовательно, происходящими в них изменениями (посев, оприходование урожая, прирост живой массы, приплод и т.п.). В связи с этим материалы имеют большое пространственное распространение в сельском хозяйстве.

Сформулировать принцип учета движения материалов достаточно просто: приобретенные материалы покупают, ставят на баланс и списывают в производство. Однако на самом деле бухгалтерский учет движения материалов содержит в себе множество нюансов.

Эти и многие другие факторы, обусловленные в отдельных случаях спецификой деятельности сельскохозяйственной организации, могут служить основанием для возникновения ошибок в ведении учета движения материалов. В большинстве случаев эти ошибки обнаруживаются при аудите. Именно поэтому аудит служит одним из основных механизмов в сложившейся системе взаимоотношений между экономическим субъектом и пользователями бухгалтерской информации, его качественное проведение позволяет принимать грамотные управленческие решения. Можно утверждать, что аудит движения материалов в рамках происходящих преобразований выполняет контрольную функцию за реализацией

осуществляемых процессов в отрасли сельского хозяйства.

Научно обоснованная система аудита в сельскохозяйственных организациях – актуальная проблема для современных условий, так как сельскохозяйственная деятельность имеет многоотраслевую структуру со своими особенностями и спецификой, что, несомненно, сказывается и на учете движения основных средств. Проведение углубленных аудиторских проверок движения материалов с учетом отраслевых особенностей сельскохозяйственных организаций позволяет выявить достоверное состояние бухгалтерской отчетности [4].

Особенностями аудита движения материалов в сельском хозяйстве, по нашему мнению, являются:

1) наличие характерных для сельского хозяйства объектов учета (семена, корм, посадочный материал, удобрения);

2) проверка информации материалах по рассредоточенным объектам хозяйствования, поскольку отдельные отрасли сельского хозяйства имеют в своем составе бригады или фермы, которые отдалены друг от друга на большие расстояния. Подобное разделение вызывает не только поступление или выбытие, но и предполагает внутреннее перемещение материалов;

3) сезонность использования материалов в производстве. Это характерно только для отрасли растениеводства, поскольку часть материальных ценностей (семена, удобрения, средства химической защиты) используется в определенные периоды времени.;

4) использование характерных для этого участка учета и сегмента аудита: первичных документов, учетных регистров, корреспонденции счетов, открытия субсчетов и соответственно порядка проведения инвентаризации.

5) условия поступления и выбытия материалов, их использование, вытекающие из специфики сельского хозяйства. Отдельные операции зависят от физиологических процессов животных, биологических процессов у многолетних насаждений, а также климатических условий.

Специфика материалов в отрасли сельского хозяйства и, как следствие, особенность их учета, требуют принципиально иного подхода к аудиту движения данного вида активов, что позволяет сделать вывод о необходимости разработки методики, учитывающей особенности их учета и аудита в сельском хозяйстве [5]. Это утверждение



основывается на том, что подход, который имеет научное подтверждение, как всякое отражение определенной последовательности этапов, снижает субъективность профессионального суждения аудитора и позволяет обосновать правильность его действий. Ряд авторов рассматривает движение материальных ценностей как одно из направлений аудита материально-производственных запасов, не выделяя данный сегмент аудита в самостоятельный. Изучение

различных мнений к проведению аудита движения материальных ценностей позволило определить, что, как правило, методики всю последовательность действий разделяют на три этапа: подготовительный, основной и заключительный [6]. Название этапов у разных авторов отличаются, однако, суть их единая. Это послужило основанием предполагать проведение аудита движения материалов по четырем этапам – рисунок 1.

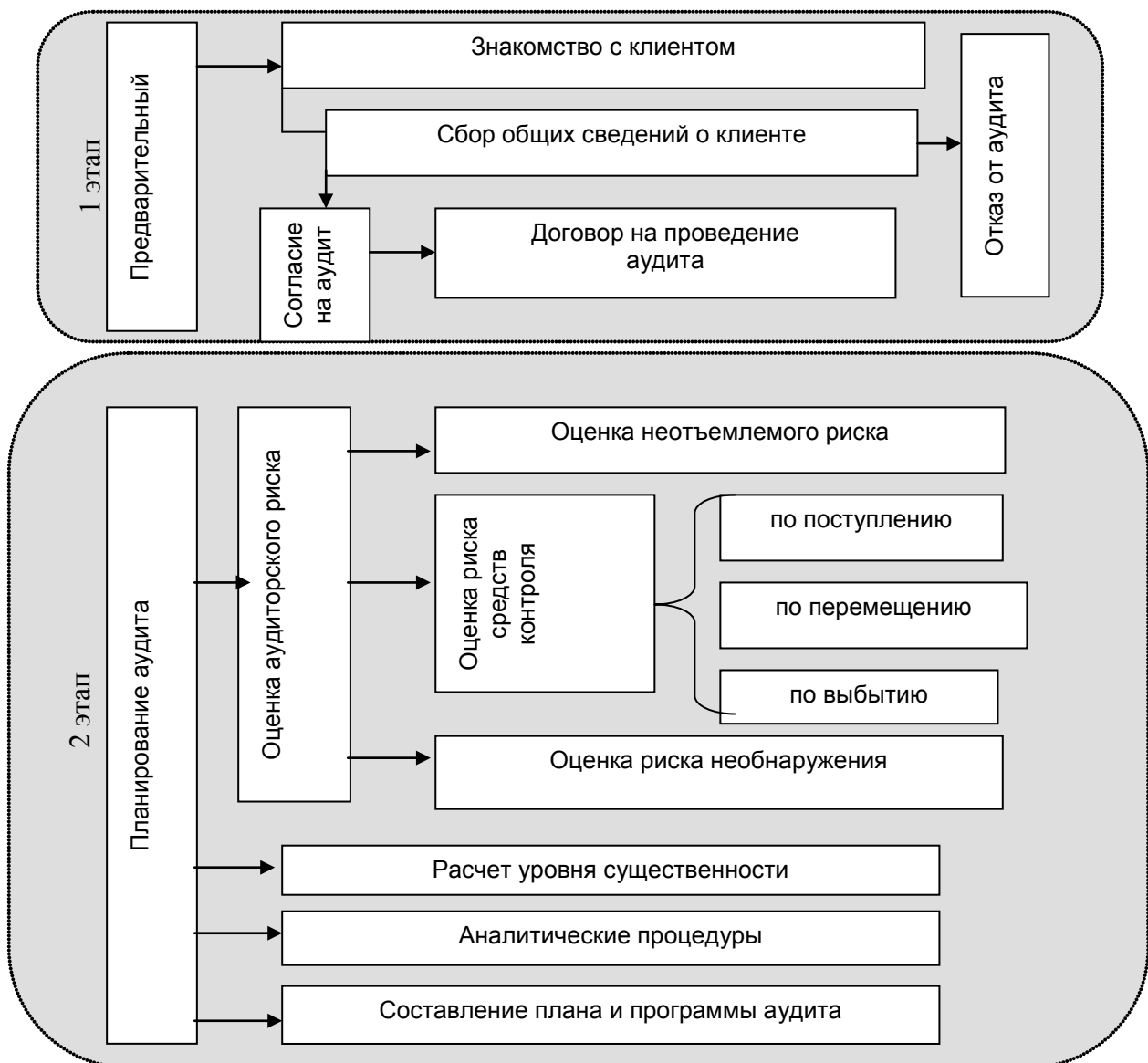


Рис.1. Этапы аудита материалов в сельскохозяйственных организациях (начало)

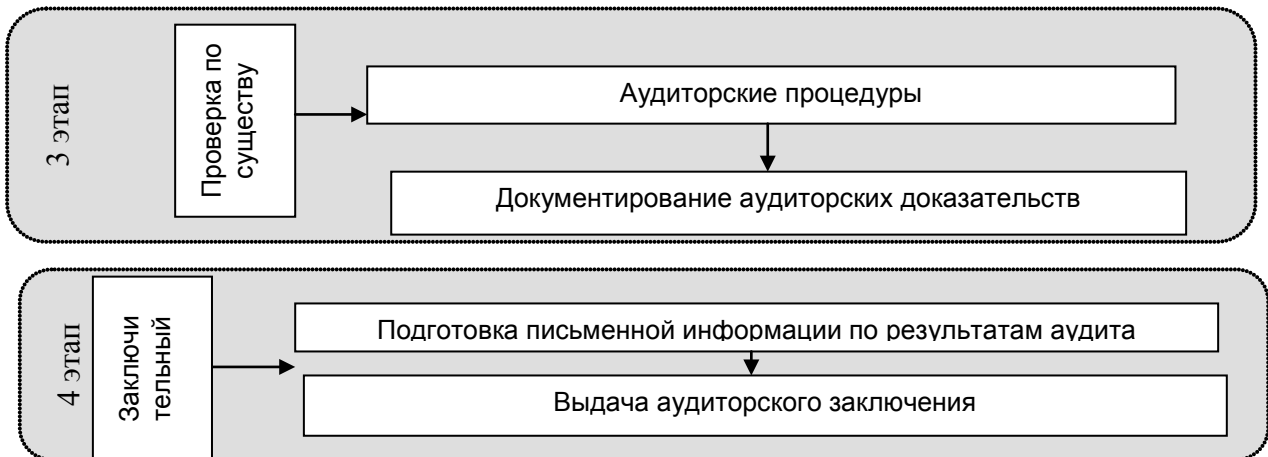


Рис. 1. Этапы аудита материалов в сельскохозяйственных организациях (окончание)

Проведение аудита в сельскохозяйственных организациях, как правило, по продолжительности ограничено, что обусловлено большим объемом работы, поскольку аудит зачастую осуществляется не только в отношении материалов, но всех остальных участков учета организации. Это ведет к тому, что отдельные участки остаются без пристального изучения аудиторов, а из-за ограниченности времени к тому же проверяются поверхностно [7]. По нашему мнению, применение на этапе планирования аналитических процедур позволит аудиторским фирмам сэкономить время.

Одним из значимых моментов при реализации основного этапа является наличие необходимой рабочей документации. Документирование этих операций отнимает много времени у аудитора, которое он мог бы потратить непосредственно на проведение аудита [8]. Разработка и наличие готовых рабочих документов, учитывающие операции, свойственные только сельскому хозяйству, существенно сократят и облегчат труд аудитора, ускорят процесс проверки.

В Российской Федерации требования к составлению рабочей документации установлены федеральным правилом (стандартом) аудиторской деятельности № 2 «Документирование аудита». Данное правило было разработано на основе Международного стандарта аудита (МСА) 230 «Документирование» и практически полностью совпадает с ним по тексту. В настоящее время нет единообразия в требованиях к созданию рабочих документов

и их оформлению. Это вызвано тем, что действующее федеральное правило (стандарт) аудиторской деятельности № 2 «Документирование аудита» не устанавливает рекомендуемые формы рабочих документов аудитора. Оно лишь «устанавливает единые требования к составлению документации в процессе аудита финансовой (бухгалтерской) отчетности» [9].

С учетом сказанного предлагается: результаты разработки рабочих документов отразить во внутрифирменном аудиторском стандарте «Документирование аудита материалов». В разработанный стандарт будет включена программа аудита, в которой приведены необходимые аудиторские процедуры, с присвоенными им номерами. Кроме того, перечислены направления движения материалов, по которым представлены формы рабочих документов.

#### **Заключение**

Таким образом, особенностью аудита материалов должно являться осуществление аналитических процедур на этапе планирования и использование специализированных рабочих документов. Применение аналитических процедур сократит время проведения проверки и повысит ее качество, а также позволит уделить больше внимания проверке по существу. Разработанные формы рабочих документов, которые учитывают специфику аудита материалов в сельском хозяйстве, помогут аудитору сократить время на их разработку, позволят привлечь к проверке

ассистентов и уделить большее время сбору, изучению и анализу полученных аудиторских доказательств.

В результате реализации предложенных автором мероприятий в рамках аудита материалов возможно изменить соотношение времени между этапами проверки в пользу непосредственного проведения аудита.

### Библиографический список

1. Адамс, Р. Основа аудита : пер. с англ./ под ред. Я.В. Соколова. – М. :Аудит, ЮНИТИ, 1995. – 398 с.

2. Блинов, О.А. Порядок учета обесценения внеоборотных активов сельскохозяйственных организаций / О.А.Блинов, Ю.И.Новиков, В.В. Кузнецова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10-6. – С. 1312–1314.

3. Мельник, М.В. Экономический анализ в аудите : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Бухгалтерский учет, анализ и аудит», «Финансы и кредит», «Налоги и налогообложение» / М.В. Мельник, В.Г. Когденко. – М. : ЮНИТИДАНА, 2012. – 543 с.

4. Мозжерина, Т.Г. Оценка и аудит инвестиционных проектов и привлечения инвестиций в АПК / Т.Г. Мозжерина, Е.Е. Носырева. – Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH Co. KG. 2011.– 180 с.

5. Носырева, Е.Е. Роль и значение аналитических процедур в аудите движения основных средств // *Аграрно-экономическая наука о проблемах инновационного развития агропромышленного производства : сборник статей Международной научно-практической конференции*. – Омск : Изд-во ОмГАУ, 2007.– С. 202–206.

6. Овчинникова, Н.Н. Аналитические процедуры в оценке непрерывности деятельности организации : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 08.00.12 / Овчинникова Н.Н. ; науч. рук. проф. Б.А. Аманжолова ; СибУПК. – Новосибирск, 2011. – 17 с.

7. Оценка рисков в бухгалтерском учете, аудите, анализе : монография. Н.Д. Бублик, Г.А. Зимина, Ф.С. Растегаева, Т.Н. Шашкова. – Уфа : Вагант, 2012. – 159 с.

8. Парушина, Н.В. Аудит: основы аудита, технология и методика проведения аудиторских проверок : учеб. пособие / Н.В. Парушина, Е.А. Кыштымова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2012. – 560 с.

9. Постановление Правительства РФ от 23.09.2002 N 696 (ред.от 22.12.2011) «Об утверждении федеральных правил (стандартов) аудиторской деятельности» // Информационно-

правовой портал Консультант. – URL:<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=124340&fld=134&dst=100043,0&rnd=0.732537661574335> (дата обращения ресурсу: 12.08.2016).

### SPECIFICS OF AUDIT OF THE MOVEMENT OF MATERIAL VALUES IN THE AGRICULTURAL ORGANIZATIONS

E.E. Golova, E.A. Dmitrenko

**Abstract.** In article the subject devoted to consideration of features of audit of materials in agricultural production is considered and features of sequence of audit proceeding from specifics of activity of the agricultural enterprises are found out. On the basis of the conducted research the sequence of audit of materials which specifics is use of analytical procedures at the stage of planning and briefs reflected in the intra firm standard "Documenting of Audit of Materials" avtorompredlagatsya.

**Keywords:** audit, materials, analytical procedures, documenting of audit of materials, agricultural organizations.

### References

1. Adams R. *Osnova audita* [Audit bases]: Per. s angl./ Pod red. Ja.V. Sokolova. – М.:Audit, JuNITI, 1995. – 398 p.

2. Blinov, O.A. *Poryadok ucheta obesceneniya vneoborotnyh aktivov sel'skohozyajstvennyh organizacij* [Order of the accounting of depreciation of non-current assets of the agricultural organizations]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no 10-3, pp 1312-1314.

3. Mel'nik, M. V. *Jekonomicheskij analiz v audite* [The economic analysis in audit ] [Jelektronnyj resurs] : ucheb. posobie dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po special'nostjam «Buhgalterskij uchet, analiz i audit», «Finansy i kredit», «Nalogi i nalogooblozhenie» / M.V. Mel'nik, V.G. Kogdenko. - М.: JuNITIDANA, 2012. - 543 p.

4. Mozzherina T.G. *Ocenka i audit investicionnyh projektov i privlechenija investicij v APK* [Assessment and audit of investment projects and attraction of investments into agrarian and industrial complex ] / T.G. Mozzherina, Е.Е. Nosyreva. – Izdatel'stvo: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH Co. KG. 2011.- 180 p.

5. Nosyreva E.E. Role and value of analytical procedures in audit of the movement of fixed assets [*Rol' i znachenie analiticheskikh procedur v audite dvizhenija osnovnyh sredstv*] // *Agrarno - jekonomicheskaja*

nauka o problemah innovacionnogo razvitija agropromyshlennogo proizvodstva: Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno – prakticheskoj konferencii. – Omsk: Izd-vo OmGAU, 2007.- pp. 202-206.

6.Ovichnikova, N.N. *Analiticheskie procedury v ocenke nepreryvnosti dejatel'nosti organizacii* [Analytical procedures in an assessment of a continuity of activity of the organization ][Elektronnyj resurs]: : avtoref. dis... kand. tehn. nauk : 08.00.12 / N.N. Ovchinnikova ; nauch. ruk. prof. B.A. Amanazholova ; SibUPK. – Novosibirsk, 2011. – 17 p.

7. *Ocenka riskov v buhgalterskom uchete, audite, analize: monografija.* [Assessment of risks in accounting, audit, the analysis] N.D. Bublik, G.A. Zimina, F.S. Rastegaeva, T.N. Shashkova. - Ufa: Vagant, 2012. - 159 p.

8.Parushina N.V. *Audit: osnovy audita, tehnologija i metodika provedenija auditorских proverka : ucheb. Posobie* [Audit: audit bases, technology and technique of carrying out audit inspections] / N.V. Parushina, E.A. Kyshtymova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : ID «FORUM» : INFRA-M, 2012. – 560 p.

9.Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 23.09.2002 N 696 (red. Ot 22.12.2011) «Ob utverzhdenii federal'nyh pravil (standartov) auditor'skoj dejatel'nosti» [About the approval of federal rules (standards) of auditor activity] // Informacionno-pravovoj portal Konsultant.–URL:<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=124340&fld=134&dst=100043,0&rnd=0.732537661574335>.

*Голова Елена Евгеньевна (Россия, Омск) – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, г. Омск, ул.Физкультурная, 8Е, 203, e-mail: golova-e-e@mail.ru).*

*Дмитренко Елена Александровна (Россия, Омск) – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, г. Омск, ул.Физкультурная, 8Е, 203, e-mail: dea1008@mail.ru).*

*Head Elena Evgenyevna (Russian Federation, Omsk) – Candidate of Economic Sciences, the associate professor, the associate professor of economy, accounting and financial control FGBOU IN Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Fizkulturnaya St., 8 E, 203, e-mail: golova-e-e@mail.ru).*

*Dmitrenko Elena Aleksandrovna (Russian Federation Omsk) – Candidate of Economic Sciences, the associate professor, the associate professor of economy, accounting and financial control FGBOU IN Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Fizkulturnaya St., 8 E, 203, e-mail: dea1008@mail.ru).*

УДК 332.14

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА<sup>1</sup>

В.В. Карпов, А.Ю. Лагздин, К.К. Логинов  
Омский научный центр СО РАН, Россия, г. Омск

**Аннотация.** В статье предложен подход к оценке итоговой эффективности муниципальных программ на поле управленческих решений. Представлены алгоритмы оценки эффективности мероприятий подпрограмм и результативности программы с применением компонентного анализа. На примере одного из муниципальных районов Омской области проведено формирование типовой муниципальной программы “Экономика”, рассчитана итоговая оценка ее эффективности и даны рекомендации для муниципальных властей по повышению эффективности программы.

**Ключевые слова:** муниципальная программа, оценка эффективности, статистический анализ, метод главных компонент.

<sup>1</sup> Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ и Администрацией Омской области научного проекта №16-12-55006.

**Введение**

В последнее время неуклонно набирают актуальность вопросы использования муниципальных программ в практике управления муниципальных районов регионов России. При этом особо остро встают проблемы эффективности использования бюджетных средств [1] и оценки результативности проведенных программ [2, 3].

С управленческой точки зрения предназначение муниципальных программ состоит в оформлении расходов бюджета в программную форму и в проведении социально-экономического планирования. Необходимость проведения данного стратегического планирования подтверждается и международным опытом [4]. Проанализировав программы муниципальных районов Омской области, можно сделать вывод о том, что они не имеют единого подхода к формированию и наполнению муниципальных программ. Чаще всего муниципальные районы имеют только две программы, которые направлены на развитие экономики района и социально-культурной сферы. При этом, к примеру, в программу по развитию социально-культурной сферы могут быть включены мероприятия, относящиеся к организации муниципального управления, поддержанию инфраструктуры района и т.п. В результате программа может быть "перегружена", что осложняет ее разработку и реализацию. Кроме того, при этом сложно установить ожидаемые результаты программы и установить зависимость между конкретными мероприятиями и результатами. Для решения данной проблемы предлагается формирование типовых муниципальных программ. Пример такой программы в сфере «Экономика» будет приведен в работе.

Муниципальные районы Омской области используют методику оценки эффективности реализации программ, при которой эффективность оценивается как отношение степени достижения ожидаемого результата к степени финансового обеспечения программы. Оценка эффективности проводится последовательно, начиная с целевых показателей мероприятий, затем через среднее значение индикаторов эффективности мероприятий вычисляется значение эффективности подпрограммы, и аналогичным способом – всей программы. При таком подходе высокое значение одного целевого показателя может нивелировать низкие значения других (т.е. невыполненных

мероприятий) и в итоге, после усреднения значений, эффективность программы в целом может быть оценена как высокая. Кроме того, при изменении объемов финансирования региональные власти могут корректировать ожидаемые результаты программ и подстраивать плановые объемы финансирования под фактические. В итоге проводимая оценка эффективности программ может не отражать реальную ситуацию и даже при эффективности, превышающей 100%, может быть не выполнена половина всех целевых индикаторов. В работе предлагается проведение оценки эффективности муниципальных программ на поле управленческих решений, опирающаяся на алгоритмы расчета оценки эффективности выполнения мероприятий и оценки достижения результатов муниципальной программы. Данные алгоритмы являются развитием исследований в отношении государственных программ.

**Оценка эффективности муниципальных программ**

Будем использовать следующие обозначения:

$s > 0$  – количество ожидаемых результатов муниципальной программы;

$A_i^{(p)} > 0, A_i^{(f)} > 0$  – плановое и фактическое значение  $i$ -го ожидаемого результата муниципальной программы соответственно,  $i = 1, \dots, s$ ;

$n > 0$  – количество подпрограмм в муниципальной программе;

$m_j > 0$  – количество ожидаемых результатов  $j$ -й подпрограммы,  $j = 1, \dots, n$ ;

$x_{jk}^{(p)} > 0, x_{jk}^{(f)} > 0$  – плановое и фактическое значение  $k$ -го ожидаемого результата  $j$ -ой подпрограммы соответственно,  $j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_j$ ;

$l_j > 0$  – количество основных мероприятий  $j$ -й подпрограммы;

$d_{jq} > 0$  – количество мероприятий  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы,  $q = 1, \dots, l_j$ ;

$y_{jqp}^{(p)} > 0, y_{jqp}^{(f)} > 0$  – плановое и фактическое значение индикатора  $p$ -го мероприятия  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы,  $p = 1, \dots, d_{jq}$ ;

$V_{jqp}^{(p)} > 0, V_{jqp}^{(f)} > 0$  – запланированный и фактический объем финансирования  $p$ -го мероприятия  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы соответственно;

$w_{ijk}$  – весовой коэффициент, отражающий вклад  $k$ -го ожидаемого результата  $j$ -й

подпрограммы в  $i$ -й ожидаемый результат муниципальной программы,  $0 \leq w_{ijk} \leq 1$ ,  $i = 1, \dots, s$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, m_j$ ,

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_j} w_{ijk} = 1;$$

$w_{ij}^{(SUB)}$  – весовой коэффициент, отражающий общий вклад ожидаемых результатов  $j$ -й подпрограммы в  $i$ -й ожидаемый результат муниципальной программы,  $w_{ij}^{(SUB)} = \sum_{k=1}^{m_j} w_{ijk}$ ;

$W_j^{(SUB)}$  – весовой коэффициент, отражающий общий вклад ожидаемых результатов  $j$ -й подпрограммы во все ожидаемые результаты муниципальной программы (ожидаемые результаты муниципальной программы полагаются равнозначными),  $W_j^{(SUB)} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s w_{ij}^{(SUB)}$ .

Представим алгоритм вычисления весовых коэффициентов ожидаемых результатов подпрограмм с учетом их влияния на ожидаемый результат муниципальной программы. Пусть задан ожидаемый результат  $Y$  муниципальной программы и группа ожидаемых результатов  $X_1, \dots, X_n$  всех подпрограмм данной программы.

1. На основе статистических данных (фактических значений ожидаемых результатов) проводим множественный регрессионный анализ с зависимой переменной  $Y$  с использованием метода пошагового удаления регрессоров. Получаем линейное уравнение регрессии и оценку нормированного коэффициента детерминации.

2. Применяем компонентный анализ переменных  $X_1, \dots, X_n$  методом главных компонент с использованием корреляционной матрицы. Получаем набор главных компонент  $F_1, \dots, F_n$  таких, что  $\check{X} = AF$ , где  $\check{X} = (X - MX)$  – центрированный вектор-столбец  $n$ -мерного вектора  $X = (X_1, \dots, X_n)^T$ ,  $F = (F_1, \dots, F_n)^T$  – центрированный и нормированный вектор-столбец некоррелированных главных компонент,  $A = (a_{ij})$  – матрица нагрузок случайных величин  $X_i$  на компоненты  $F_j$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, n$ .

3. Проводим регрессионный анализ (с исключением) показателя  $Y$  на главные компоненты  $F_1, \dots, F_n$ . Получаем несколько уравнений регрессии от разных главных компонент и с разными коэффициентами детерминации. Выбрав оценку нормированного коэффициента детерминации не намного отличающуюся от

оценки нормированного коэффициента детерминации уравнения регрессии по исходным признакам на шаге 1, определяем набор главных компонент  $F_1, \dots, F_k$ ,  $k \leq n$ , соответствующий выбранному уравнению регрессии.

4. Рассчитываем вклад  $U_1, \dots, U_n$  показателей  $X_1, \dots, X_n$  в дисперсию главных компонент  $F_1, \dots, F_k$  на основе матрицы нагрузок  $A = (a_{ij})$ :  $U_i = \sqrt{\sum_{j=1}^k a_{ij}^2}$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

5. Вычисляем весовые коэффициенты  $u_i$  индикаторов:  $u_i = \frac{U_i}{\sum_{j=1}^n U_j}$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Пусть  $u_i$  – это весовой коэффициент, соответствующий ожидаемому результату  $X_i$ , где  $X_i$  –  $k$ -ый ожидаемый результат  $j$ -ой подпрограммы, и  $Y$  – это  $i$ -ый ожидаемый результат муниципальной программы. Тогда  $u_i = w_{ijk}$  в введенных ранее обозначениях.

После вычисления весовых коэффициентов можно переходить к расчету оценки эффективности муниципальной программы, для чего необходимо вычислить сводную оценку эффективности мероприятий данной программы  $E^{(M)}$  и результативность программы  $R$ . Для вычисления оценки эффективности мероприятий используется методика из Постановления Правительства Омской области от 26.06.2013 г. № 146-п<sup>2</sup> со следующими изменениями: для показателей назначаются весовые коэффициенты, и в случае, если значение показателя превышает единицу, полагаем это значение равным единице. Далее вычисляем степень достижения запланированных результатов на уровне подпрограмм и программы в целом.

Рассмотрим алгоритм расчета эффективности реализации всех мероприятий  $E^{(M)}$ , направленных на достижение плановых значений ожидаемых результатов муниципальной программы в целом и ее подпрограмм.

1. Расчет уровня финансового обеспечения  $p$ -го мероприятия  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы

$$V_{jqp} = \frac{V_{jqp}^{(f)}}{V_{jqp}^{(p)}}, \quad j = 1, \dots, n, \quad q = 1, \dots, l_j, \\ p = 1, \dots, d_{jq}.$$

2. Расчет степени реализации  $p$ -го мероприятия  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы:

для «положительных» индикаторов:

$$r_{jqp} = \frac{y_{jqp}^{(f)}}{y_{jqp}^{(p)}};$$

для «отрицательных» индикаторов:

$$r_{jqp} = \frac{y_{jqp}^{(p)}}{y_{jqp}^{(f)}}.$$

Если  $r_{jqp} > 1$ , то полагаем  $r_{jqp} = 1$ .

«Положительными» считаются индикаторы и ожидаемые результаты, положительной динамикой изменения которых является увеличение их значений, в противном случае индикаторы и ожидаемые результаты считаются «отрицательными».

3. Расчет эффективности реализации  $p$ -го мероприятия  $q$ -го основного мероприятия  $j$ -й подпрограммы:  $M_{jqp} = \frac{r_{jqp}}{v_{jqp}}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $q = 1, \dots, l_j$ ,  $p = 1, \dots, d_{jq}$ .

4. Расчет эффективности реализации всех мероприятий  $j$ -й подпрограммы (все мероприятия  $j$ -й подпрограммы предполагаются равнозначными):

$$M_j^{(*)} = \frac{\sum_{q=1}^{l_j} \sum_{p=1}^{d_{jq}} M_{jqp}}{\sum_{q=1}^{l_j} d_{jq}}, \quad j = 1, \dots, n.$$

5. Расчет эффективности реализации всех мероприятий муниципальной программы с учетом значимости подпрограмм:  $E^{(M)} = \sum_{j=1}^n W_j^{(SUB)} M_j^{(*)}$ .

Далее приведем алгоритм расчета степени достижения  $R$  плановых значений ожидаемых результатов муниципальной программы в целом и ее подпрограмм.

1. Расчет степени достижения планового значения  $k$ -го ожидаемого результата  $j$ -й подпрограммы:

для «положительных» ожидаемых результатов:  $G_{jk} = \frac{x_{jk}^{(f)}}{x_{jk}^{(p)}};$

для «отрицательных» ожидаемых результатов:  $G_{jk} = \frac{x_{jk}^{(p)}}{x_{jk}^{(f)}}.$

Если  $G_{jk} > 1$ , то полагаем  $G_{jk} = 1$ .

2. Расчет степени достижения плановых значений индикаторов  $j$ -й подпрограммы (все ожидаемые результаты  $j$ -й подпрограммы предполагаются равнозначными):

$$G_j^{(**)} = \frac{\sum_{k=1}^{m_j} G_{jk}}{m_j}, \quad j = 1, \dots, n.$$

3. Расчет степени достижения плановых значений ожидаемых результатов всех подпрограмм с учетом значимости подпрограмм:  $R^{(**)} = \sum_{j=1}^n W_j^{(SUB)} G_j^{(**)}$ .

4. Расчет степени достижения планового значения  $i$ -го ожидаемого результата муниципальной программы:

для «положительных» ожидаемых результатов:  $G_i^{(*)} = \frac{A_i^{(f)}}{A_i^{(p)}};$

для «отрицательных» ожидаемых результатов:  $G_i^{(*)} = \frac{A_i^{(p)}}{A_i^{(f)}}, \quad i = 1, \dots, s.$

5. Расчет степени достижения плановых значений всех ожидаемых результатов муниципальной программы (ожидаемые результаты муниципальной программы предполагаются равнозначными):

$$R^{(*)} = \frac{\sum_{i=1}^s G_i^{(*)}}{s}.$$

6. Расчет результативности  $R = 0,5 R^{(**)} + 0,5 R^{(*)}$ , где принята одинаковая степень значимости ожидаемых результатов муниципальной программы и ее подпрограмм – по 0,5. Допускается изменение указанного соотношения при соблюдении общей суммы равной единице.

После расчета эффективности и результативности муниципальной программы итоговую эффективность реализации муниципальной программы предлагается оценивать на поле управленческих решений на пересечении результативности  $R$  и эффективности  $E^{(M)}$  (см. рис. 1) [5]. Подробная трактовка ячеек матрицы будет изложена в последующих публикациях по проекту.

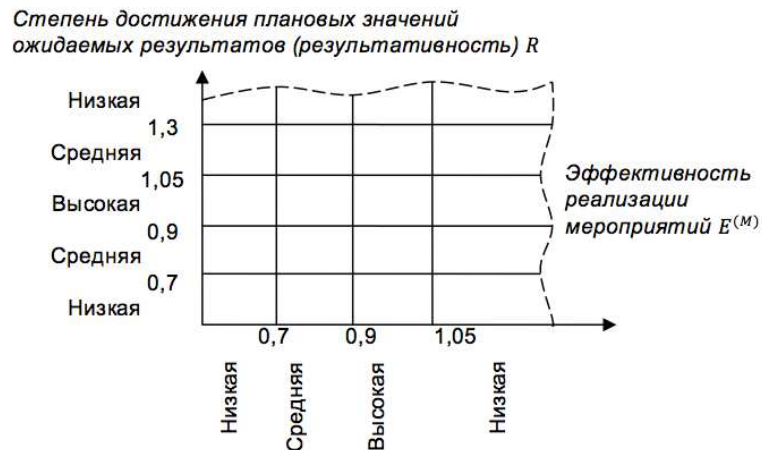


Рис. 1. Поле управленческих решений для муниципальной программы

Для стандартизации всех муниципальных программ районов, направленных на развитие экономической сферы районов, предлагается ввести типовую муниципальную программу «Экономика». Ожидаемые результаты программы: «Численность населения на 1 января текущего года», «Рост объема инвестиций в основной капитал (за исключением бюджетных средств) в расчете на 1 человека». Ее подпрограммы и их ожидаемые результаты перечислены далее.

Подпрограмма 1: Развитие малого и среднего предпринимательства. Ожидаемые результаты подпрограммы: рост числа субъектов малого и среднего предпринимательства в расчете на 10 тыс. человек населения; увеличение доли среднесписочной численности работников (без внешних совместителей) малых и средних предприятий в среднесписочной численности работников (без внешних совместителей) всех предприятий и организаций; среднемесячная заработная плата работников организаций (оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования).

Подпрограмма 2: Развитие сельского хозяйства. Ожидаемые результаты подпрограммы: рост продукции сельского хозяйства; доля прибыльных сельскохозяйственных организаций (для муниципальных районов); среднемесячная заработная плата работников организаций (сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство).

Подпрограмма 3: Развитие деятельности предприятий. Ожидаемые результаты подпрограммы: объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства), средняя численность работников которых превышает 15 человек, по основному виду экономической деятельности; среднемесячная заработная плата работников организаций (обрабатывающие производства).

Для апробации предложенной методики по расчету эффективности программы, направленной на экономическое развитие района, был выбран один из муниципальных районов Омской области.

Обозначим через  $Y_1$  численность населения на 1 января текущего года, через  $Y_2$  объем инвестиций в основной капитал (за исключением бюджетных средств) в расчете на 1 человека. Через  $X_1, X_2, X_3$  обозначим ожидаемые результаты подпрограммы 1 в порядке их перечисления выше, аналогичным образом через  $X_4, X_5, X_6$  – ожидаемые результаты подпрограммы 2, через  $X_7, X_8$  – ожидаемые результаты подпрограммы 3. Статистика по фактическим значениям перечисленных ожидаемых результатов известна за 2009-2015 гг. [6]. Для показателя «Продукция сельского хозяйства» нет статистических данных за 2015 год, поэтому в качестве этого значения примем прогнозное значение, рассчитанное на основе статистики за 2009-2014 гг.

Вычислим весовые коэффициенты влияния ожидаемых результатов



подпрограмм на показатель  $Y_1$  программы согласно приведенному алгоритму. Вычисления проводились в программном пакете IBM SPSS Statistics 22, получены следующие весовые коэффициенты:

$$u_1 = 0,0934, u_2 = 0,1676, u_3 = 0,1714, u_4 = 0,1560, u_5 = 0,0001, u_6 = 0,1910, u_7 = 0,0396, u_8 = 0,1808.$$

Аналогичным образом вычислены весовые коэффициенты влияния ожидаемых результатов подпрограмм на показатель  $Y_2$  программы:  $u_1 = 0,0934, u_2 = 0,1676, u_3 =$

$$0,1714, u_4 = 0,1560, u_5 = 0,0001, u_6 = 0,1910, u_7 = 0,0396, u_8 = 0,1808.$$

Заметим, что в данном случае весовые коэффициенты отличаются лишь в 3-4 цифре после запятой. Это свидетельствует о том, что все показатели подпрограмм оказывают примерно равное значение на показатель муниципальной программы (нет ярко выраженной корреляции).

Таким образом, во введенных ранее обозначениях весовые коэффициенты равны:

$$w_{111} = 0,0934; w_{112} = 0,1676; w_{113} = 0,1714; w_{121} = 0,1560; w_{122} = 0,0001; w_{123} = 0,1910;$$

$$w_{131} = 0,0396; w_{132} = 0,1808; w_{211} = 0,1265; w_{212} = 0,1281; w_{213} = 0,1146; w_{221} = 0,1281;$$

$$w_{222} = 0,1266; w_{223} = 0,1279; w_{231} = 0,1247; w_{232} = 0,1236.$$

$$w_{11}^{(SUB)} = 0,4324; w_{12}^{(SUB)} = 0,3471; w_{13}^{(SUB)} = 0,2204; w_{21}^{(SUB)} = 0,3692; w_{22}^{(SUB)} = 0,3792;$$

$$w_{23}^{(SUB)} = 0,2483. w_1^{(SUB)} = 0,4008; w_2^{(SUB)} = 0,3632; w_3^{(SUB)} = 0,2344.$$

Для наполнения типовой муниципальной программы «Экономика» статистическими и плановыми значениями были использованы данные из [7-8], а для отсутствующих плановых значений были взяты прогнозные значения, рассчитанные на основе статистики по фактическим данным за 2009-2014 гг. Прогнозы строились с использованием моделей авторегрессии в программном комплексе IBM SPSS Statistics 22 [9]. Отметим, что в существующих программах муниципального района нет мероприятий, подходящих к подпрограмме 3 «Развитие деятельности предприятий». Для наглядности применения методики введем в подпрограмму 3 мероприятие «Субсидии местным бюджетам на предоставление

субсидий предприятиям (без малых и средних предприятий) и будем полагать, что уровень ее финансового обеспечения и степень ее реализации равны единице.

Вычислим эффективности реализации мероприятий. Так как в каждой подпрограмме только по одному основному мероприятию, в дальнейшем для удобства обозначений индекс основного мероприятия будем опускать. Заметим, что для мероприятия «Проведение районного конкурса молодежных бизнес-проектов «Путь к успеху» фактический бюджет равен нулю, и степень реализации мероприятия также нулевая. Поэтому будем считать, что эффективность реализации данного мероприятия равна нулю.

$$M_{11} = \frac{0,956}{0,913} = 1,047; M_{12} = 0; M_{13} = \frac{1}{0,6} = 1,667; M_{21} = \frac{1}{0,965} = 1,036; M_{22} = \frac{0,976}{0,972} = 1,004;$$

$$M_{23} = \frac{1}{0,986} = 1,014; M_{24} = \frac{1}{0,982} = 1,018; M_{25} = \frac{1}{0,954} = 1,048; M_{26} = \frac{1}{1} = 1; M_{31} = \frac{1}{1} = 1.$$

Эффективности всех мероприятий подпрограмм будут равны:

$$M_1^{(*)} = \frac{1,047+1,667}{3} = 0,905; M_2^{(*)} = \frac{1,036+1,004+1,014+1,018+1,048+1}{6} = 1,02; M_3^{(*)} = \frac{1}{1} = 1.$$

Тогда эффективность всех мероприятий муниципальной программы с учетом значимостей подпрограмм равна

$$E^{(M)} = 0,4008 * 0,905 + 0,3632 * 1,02 + 0,2344 * 1 = 0,968.$$

Рассчитаем степень достижения плановых значений ожидаемых результатов:

$$G_1^{(**)} = \frac{0,985 + 0,953 + 1}{3} = 0,979; G_2^{(**)} = \frac{1 + 1 + 1}{3} = 1; G_3^{(**)} = \frac{0,828}{1} = 0,828.$$

Вычислим степень достижения плановых значений ожидаемых результатов всех подпрограмм с учетом их значимости:  $R^{(**)} = 0,4008 * 0,979 + 0,3632 * 1 + 0,2344 * 0,828 = 0,95$ .

Далее вычислим степень достижения плановых значений всех ожидаемых результатов программы:  $R^{(*)} = \frac{1+0,178}{2} = 0,589$ . Тогда  $R = 0,5 * 0,965 + 0,5 * 0,589 = 0,777$ .

Рассмотрим поле управленческих решений для полученных значений эффективности и результативности.  $E^{(M)} = 0,968, R = 0,777$ , что соответствует полю  $0,9 \leq E^{(M)} \leq 1,05; 0,7 \leq R \leq 0,9$ . На основе полученных значений мы полагаем, что итоговая эффективность муниципальной программы является удовлетворительной, но необходимо проанализировать причины отклонения результативности, пересмотреть объемы финансирования для их увеличения и пересмотреть набор мероприятий.

#### Заключение

В работе представлено краткое описание существующих проблем с оценкой эффективности программ муниципальных районов Омской области. Предложен основанный на методе компонентного анализа алгоритм нахождения весовых коэффициентов, отражающих вклад ожидаемых результатов подпрограмм в ожидаемые результаты всей программы. Представлены разработанные на основе проведенных авторами исследований в области государственных программ алгоритмы по оценке эффективности мероприятий и результативности программ муниципальных районов. Приведен подход к оценке итоговой эффективности программ на поле управленческих решений. На основе известной статистики за 2009-2015 гг. проведено формирование типовой муниципальной программы «Экономика» и выполнена апробация предложенных алгоритмов на примере одного из муниципальных районов Омской области. Получена удовлетворительная оценка эффективности и предложены рекомендации муниципальным властям по повышению эффективности программы.

#### Библиографический список

1. Анисимкова, Н.Д. Эффективность использования бюджетных средств для стимулирования инновационного процесса в

обрабатывающей промышленности / Н.Д. Анисимкова // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 3. – С. 70–78.

2. Черников, О.С. Оценка эффективности реализации государственных программ. Опыт Тверской области / О.С. Черников // Вестник Тверского гос. ун-та. Серия «Экономика и управление». – 2014. – № 4-2. – С. 359–367.

3. Евдокимова, С.С. Эффективность реализации приоритетных региональных проектов в Волгоградской области / С.С. Евдокимова // Региональная экономика. Юг России. – 2014. – № 4. – С. 92–99.

4. Иванова, Е.В. Зарубежный опыт управления расходами бюджета и возможность его применения в России в целях повышения эффективности использования бюджетных средств / Е.В. Иванова // Вестник Омского ун-та. – 2012. – № 3. – С. 342–346.

5. Логинов, К.К. Алгоритм оценки эффективности государственных программ на примере Омской области / К.К. Логинов А.А. Кораблева, А.Г. Бреусова // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». – 2015. – № 4. – С. 226–234.

6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2015: Стат. сб. / Росстат. – М., 2015. – 1266 с.

7. Постановление Администрации Называевского муниципального района Омской области от 29.11.2013 г. № 888 «Об утверждении муниципальной программы «Развитие экономического потенциала Называевского муниципального района» [Электрон. ресурс] / Портал Правительства Омской области. – Режим доступа: <http://naz.omskportal.ru>

8. Постановление Администрации Называевского муниципального района Омской области от 30.05.2016 г. № 230 «Об итогах реализации муниципальных программ за 2015 год» [Электрон. ресурс] / Портал Правительства Омской области. – Режим доступа: <http://naz.omskportal.ru>

9. Логинов, К.К. Применение статистических пакетов в задаче прогнозирования индикаторов региональной экономической безопасности / К.К. Логинов, А.Ю. Лагздин // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 3. – С. 152–158.

#### EVALUATION OF MUNICIPAL PROGRAMS EFFICIENCY WITH USING OF COMPONENT ANALYSIS

V.V. Karpov, A.Yu. Lagzdin, K.K. Loginov

**Abstract.** The approach to evaluate the result efficiency of municipal programs in the field of management decisions is proposed in the article. The algorithms of evaluating the efficiency of subprograms events and effectiveness of the program with using of component analysis are presented. On example of

one of municipal areas of Omsk region the typical «Economics» municipal program is formed, its result efficiency is calculated. The recommendations for municipal authorities for increasing of the program efficiency are proposed.

**Keywords:** municipal program, efficiency evaluation, statistical analysis, main components method.

### References

1. Anisimkova N.D. Efficiency using budgetary funds for stimulation of innovation process in manufacturing industry // Vestnik SibADI. – 2015. – N 3. – P. 70-78.
2. Chernikin O.S. Ocenka effektivnosti realizacii gosudarstvennyh programm. Opyt Tverskoy oblasti // Vestnik Tverskogo gos un-ta. Ser.: Ekonomika i upravlenie. – 2014. – N 4-2. – P. 359–367.
3. Evdokimova S.S. Effektivnost realizacii prioritetnyh regionalnyh proektov v Volgogradskoj oblasti // Regionalnaya ehkonomika. Yug Rossii. – 2014. – N 4. – P. 92–99.
4. Ivanova E.V. Zarubezhnyy opyt upravleniya rashodami byudgeta i vozmojnost ego primeneniya v Rossii v tselyah polysheniya effektivnosti ispolzovaniya byudgetnyh sredstv // Vestnik Omskogo un-ta. – 2012. – N 3. – P. 342-346.
5. Loginov K.K., Korableva A.A., Breusova A.G. Algoritm ocenki ehffektivnosti gosudarstvennyh programm na primere Omskoj oblasti // Vestnik Omskogo universiteta. Seriya Ekonomika – 2015. – N 4. – P. 226–234.
6. Regiony Rossii. Socialno-ekonomicheskie pokazateli. 2015: Stat. sb. / Rosstat. – M., 2015. – 1266 p.
7. Postanovlenie Administracii Nazyyaevskogo municipalnogo rayona Omskoy oblasti ot 29.11.2013 N 888 «Ob utverzhenii municipalnoj programmy «Razvitie ehkonomicheskogo potentsiala Nazyyaevskogo municipalnogo rayona» [Elektron. resurs] / Portal Pravitelstva Omskoy oblasti. Rezhim dostupa: <http://naz.omskportal.ru>
8. Postanovlenie Administracii Nazyyaevskogo municipalnogo rayona Omskoy oblasti ot 30.05.2016 N 230 «Ob itogah realizacii municipalnyh programm za 2015 god» [Elektron. resurs] / Portal Pravitelstva Omskoy oblasti. Rezhim dostupa: <http://naz.omskportal.ru>
9. Loginov K.K., Lagzdin A.Yu. Application of the statistical packages in the problem of forecasting of

indicators of regional economic security // Vestnik SibADI. – 2016. – N 3. – P. 152-158.

*Карпов Валерий Васильевич (Россия, г. Омск) – доктор экономических наук, профессор, Председатель Омского научного центра СО РАН (644024, г. Омск, проспект Карла Маркса, 15, email: [vvkarpov@oscsbras.ru](mailto:vvkarpov@oscsbras.ru)).*

*Лагздин Артем Юрьевич (Россия, г. Омск) – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем Омский научный центр СО РАН (644024, г. Омск, проспект Карла Маркса, 15, email: [art.lagzdin@gmail.com](mailto:art.lagzdin@gmail.com)).*

*Логинов Константин Константинович (Россия, г. Омск) – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем Омский научный центр СО РАН (644024, г. Омск, проспект Карла Маркса, 15 email: [kloginov85@mail.ru](mailto:kloginov85@mail.ru)).*

*Karpov Valeriy Vasil'evich (Russian Federation, Omsk) – doctor of economic sciences, professor, Chairman of the Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (644024, Russia, Omsk, Marks avenue, 15, e-mail: [vvkarpov@oscsbras.ru](mailto:vvkarpov@oscsbras.ru)).*

*Lagzdin Artem Yur'evich (Russian Federation, Omsk) – candidate of physical and mathematical sciences, researcher of the complex scientific and research department of regional problems of the Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (644024, Russia, Omsk, Marks avenue, 15, e-mail: [art.lagzdin@gmail.com](mailto:art.lagzdin@gmail.com)).*

*Loginov Konstantin Konstantinovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of physical and mathematical sciences, researcher of the complex scientific and research department of regional problems of the Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (644024, Russia, Omsk, Marks avenue, 15, e-mail: [kloginov85@mail.ru](mailto:kloginov85@mail.ru)).*

УДК 656.1

## ВЛИЯНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНА НА УРОВЕНЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, Ю.П. Миронова, М.П. Миронова  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Россия, г. Краснодар

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено влияние изменения экономических показателей региона на уровень автомобильных перевозок. Высокие темпы роста экономики будут поддерживаться за счет развития приоритетных комплексов региона с ярко выраженным мультипликативным экономическим и социальным эффектом, высокой долей добавленной стоимости и значительным потенциалом роста. Необходимым для решения этой задачи потенциалом обладает и транспортный комплекс. В качестве объекта исследования авторами был выбран Краснодарский край, обладающий достаточно мощным экономическим потенциалом. В результате анализа изменения объемов перевозок и грузооборота по годам в Российской Федерации и в Краснодарском крае были выявлены и формализованы их функциональные зависимости. Зная значение уравнения тренда для конкретного региона, можно с высокой степенью аппроксимации, делать прогнозы.

**Ключевые слова:** автомобильные транспорт, грузооборот, транспортный комплекс, экономические показатели, экономический потенциал.

### Введение

Стратегией [1] определено, что высокие темпы роста экономики будут поддерживаться за счет развития приоритетных комплексов края с ярко выраженным мультипликативным экономическим и социальным эффектом, высокой долей добавленной стоимости и значительным потенциалом роста. Необходимым для решения этой задачи потенциалом обладает и транспортный комплекс.

Геополитическое расположение Краснодарского края обуславливает большую долю транспорта в валовом региональном продукте (ВРП) и в экономике края в целом [2, 3]. Деятельность предприятий транспортного комплекса напрямую зависит от экономических процессов края и сложившейся на сегодняшний день конъюнктуры Российского и мирового рынка.

### Особенности изменения ВРП Краснодарского края

Краснодарский край обладает достаточно мощным экономическим потенциалом. От экономического потенциала зависит и уровень развития транспортного комплекса. Так, исходя из анализа доля транспорта и связи в структуре ВРП Краснодарского края составляет 12% (рис. 1).

Деятельность транспорта, осуществляющего грузовые перевозки, зависит от уровня развития отраслей экономики, являющихся потенциальными отправителями и получателями грузов [4, 5].

Как показывает анализ, за исследуемый период ситуация в отрасли складывалась следующим образом. В 2015 году предприятиями транспортной отрасли перевезено 48,6 млн. тонн грузов, грузооборот - 36 млрд. тонно-км, темп роста к 2014 году составил 90,5%.

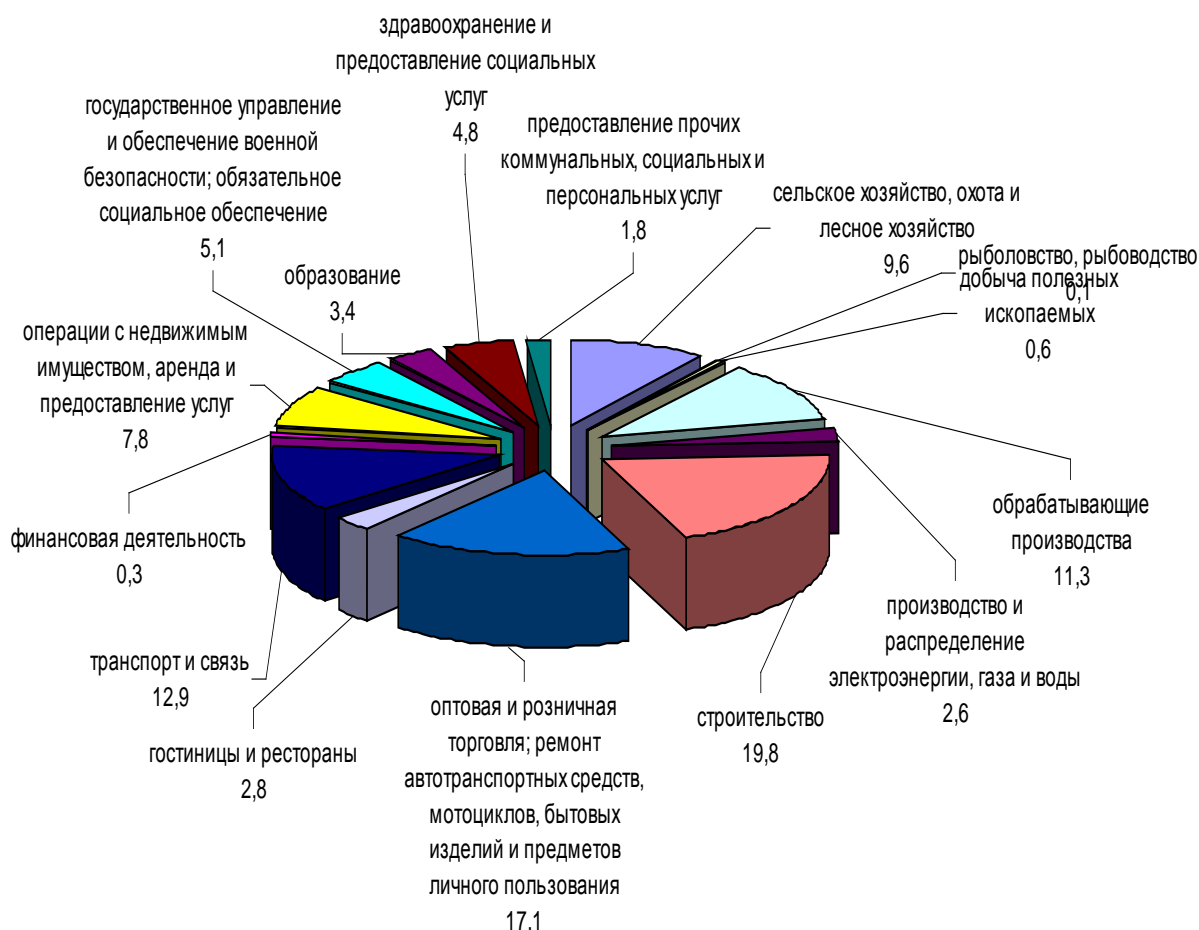


Рис. 1. Структура ВРП Краснодарского края за 2015 год

### Тенденции изменения перевозок грузов и грузооборота на автомобильном транспорте

Как показывают статистические данные [2, 3], объемы перевозок и грузооборот автомобильного транспорта неодинаковы как в разных странах мира, так и в различных регионах России.

Исходя из анализа статистических данных об объемах перевозок и грузообороте на автомобильном транспорте в России, Южном федеральном округе и Краснодарском крае, были построены графики изменения этих показателей по годам (рисунки 2 – 4).

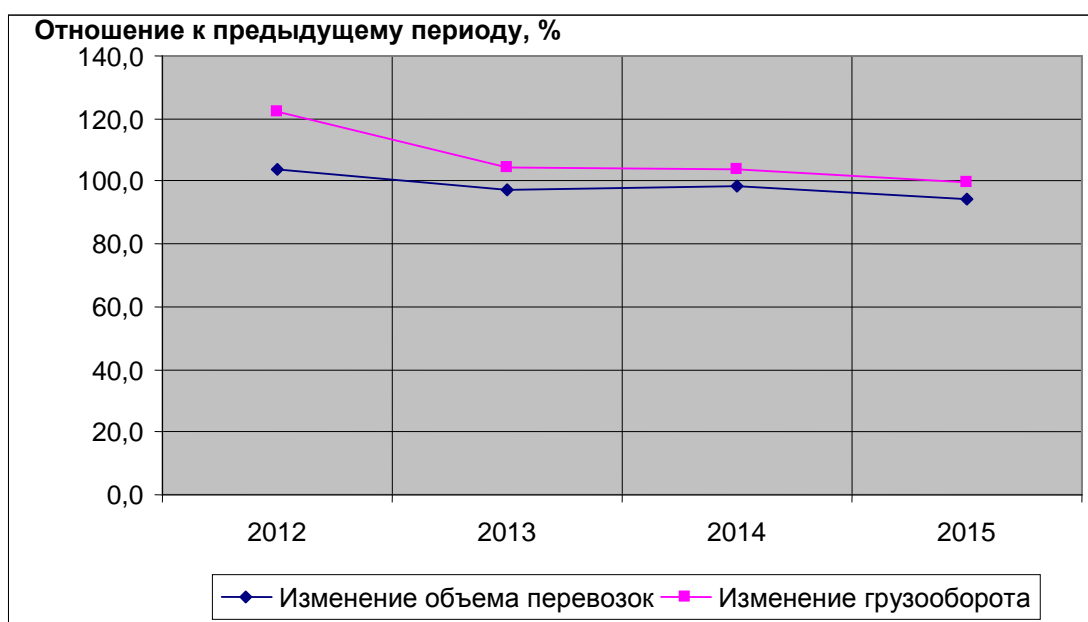


Рис. 2. Изменение перевозок грузов и грузооборота по годам в Российской Федерации

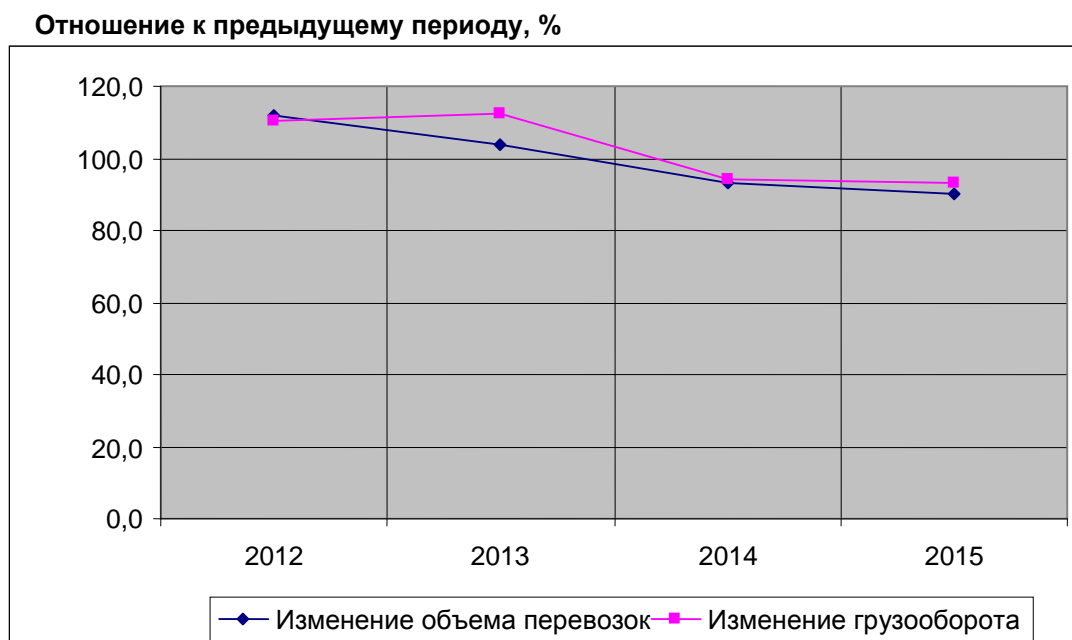


Рис. 3. Изменение перевозок грузов и грузооборота по годам в Южном федеральном округе

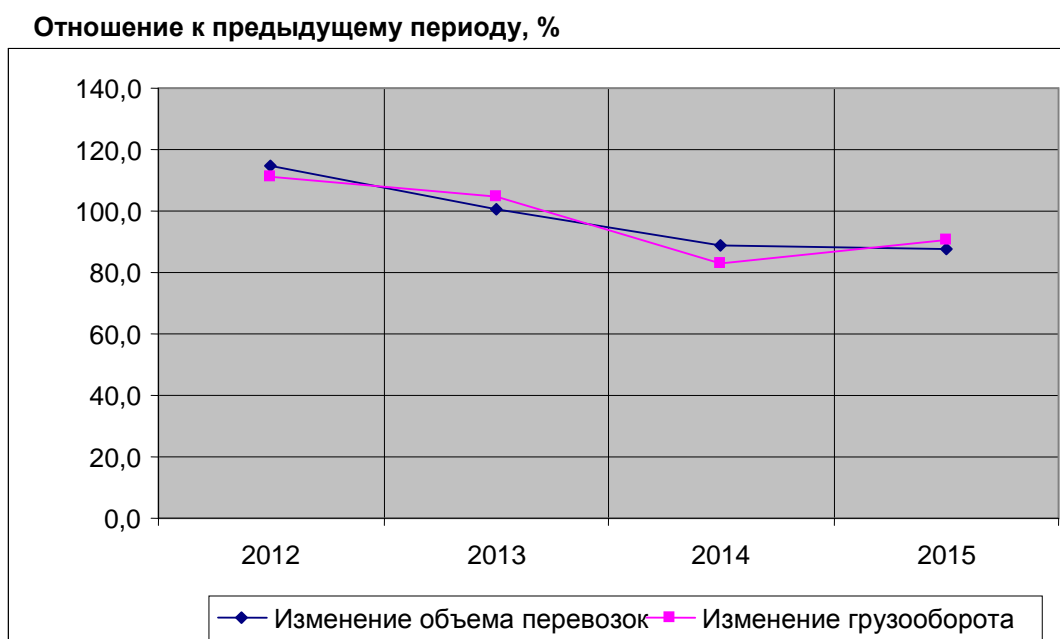


Рис. 4. Изменение перевозок грузов и грузооборота по годам в Краснодарском крае

Анализируя данные на рисунках 2 – 4, можно сделать вывод, что за последние четыре года в России, Южном федеральном округе и Краснодарском крае наметилась устойчивая тенденция к снижению перевозок грузов и грузооборота на автомобильном транспорте.

**Прогнозирование изменения объемов перевозок с учетом экономического развития региона**

При проведении более подробного анализа тенденций изменения перевозок грузов и грузооборота на автомобильном транспорте в России, Южном федеральном округе и Краснодарском крае были установлены функциональные зависимости (таблицы 1 – 2), позволяющие прогнозировать эти показатели при условии устойчивого состояния макроэкономических показателей.

Таблица 1 – Функциональные зависимости изменения объемов перевозок по годам

Тип функциональной зависимости	Российская Федерация	Южный федеральный округ	Краснодарский край
Степенная	$y = 103,59x^{-0,0652}$	$y = 113,3x^{-0,1651}$	$y = 114,59x^{-0,2043}$
- среднее квадратическое отклонение	R2= 0,8694	R2= 0,9626	R2= 0,9736
Экспоненциальная	$y = 105,86e^{-0,024x}$	$y = 120,45e^{-0,077x}$	$y = 122,75e^{-0,0924x}$
- среднее квадратическое отклонение	R2=0,8146	R2= 0,9641	R2= 0,9194
Линейная	$y = -2,91x + 105,7$	$y = -7,72x + 119,05$	$y = -9,22x + 121,05$
- среднее квадратическое отклонение	R2= 0,8107	R2= 0,9601	R2= 0,9098

Таблица 2 – Функциональные зависимости изменения грузооборота по годам

Тип функциональной зависимости	Российская Федерация	Южный федеральный округ	Краснодарский край
Степенная	$y = 120,13x^{-0,1448}$	$y = 114,08x^{-0,1394}$	$y = 112,31x^{-0,1898}$
- среднее квадратическое отклонение	R2 = 0,9052	R2 = 0,6977	R2 = 0,7159
Экспоненциальная	$y = 125,26e^{-0,0627x}$	$y = 121,32e^{-0,0689x}$	$y = 119,55e^{-0,0853x}$
- среднее квадратическое отклонение	R2 = 0,7834	R2 = 0,7863	R2 = 0,6669
Линейная	$y = -6,93x + 124,75$	$y = -7,02x + 120,05$	$y = -8,4x + 118,25$
- среднее квадратическое отклонение	R2 = 0,7694	R2 = 0,7799	R2 = 0,6974

При описании изменения объемов перевозок и грузооборота по годам для Российской Федерации и для Краснодарского края наилучшей с математической точки зрения является степенная функция, для Южного федерального округа – экспоненциальная. Учитывая особенности технологии транспортного процесса и в целом достаточные значения среднее квадратических отклонений по всем исследуемым объектам, целесообразно при прогнозировании объемов перевозок и грузооборота по годам использовать экспоненциальную функцию.

**Заключение**

При описании изменения объемов перевозок по годам для Российской Федерации и для Краснодарского края наилучшей с математической точки зрения является степенная функция, для Южного федерального округа – экспоненциальная. Исследование функциональных зависимостей изменения грузооборота по годам показало такие же результаты, как и по изменению объемов перевозок. Зная значение уравнения тренда для конкретного региона, можно с высокой степенью аппроксимации, делать прогнозы на несколько лет вперед [6, 7]. Но с каждым последующим прогнозом, значение аппроксимации будет уменьшаться.

Важнейшей стратегической задачей развития транспортного комплекса как России в целом, так и Краснодарского края [8]. является развитие его транспортной

инфраструктуры в целях формирования на территории края макрорегионального центра дистрибуции товаров и услуг [1].

Сокращение общего объема экспортно-импортных операций и повсеместное развитие различных отраслей экономики края: аграрного, промышленного, рекреационного, туристического комплексов и других, как видно из графиков, на сегодняшний день привели к снижению уровня перевозок, осуществляемых на автомобильном транспорте и увеличению доли грузооборота.

**Библиографический список**

1. Анализ изменения валового регионального продукта субъектов Российской Федерации/ Т.В. Коновалова, М.О. Левицкий, С.Л. Надырян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). –2013. –№ 1–2. –С. 113–115.
2. Закон Краснодарского края от 29 апреля 2008 г. N 1465-КЗ О Стратегии социально-экономического развития Краснодарского края до 2020 года Принят Законодательным Собранием Краснодарского края 16 апреля 2008 года.
3. Миротин, Л.Б. Логистика - Общественный пассажирский транспорт : учебник /Л.Б. Миротин. – М. : Экзамен, 2003. – 224 с.
4. Миротин, Л.Б. Транспортная логистика : учебник для транспортных вузов/ Л.Б. Миротин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА - М, 2000, – 375 с.
5. Моисеева, К.Н. Экономические основы логистики : учебное пособие/ К.Н. Моисеева. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 528 с.
6. Оценка эффективности инвестиций в транспортно-логистических системах / К.А. Кирий,



Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2014. – № 8. – С. 285–287.

7. Эффективность управления социально-экономическим развитием административно-территориальных образований : монография / И.В. Дуканова, Т.Н. Морозова, О.П. Суковатова ; под ред. В.И. Терехина. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 316 с.

8. Экономическая география и регионалистика : учебное пособие / И.А. Козьева, Э.Н. Кузьбожев. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 334 с.

### THE EFFECT OF CHANGES IN THE ECONOMIC PERFORMANCE OF THE REGION ON THE LEVEL OF ROAD TRANSPORT

T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan,  
Y.P. Mironova, M.P. Mironova

**Annotation.** This article examines the impact of changes in economic performance of the region on the level of road transport. The high growth rate of the economy will be supported through the development of priority systems of the region with a strong economic and social multiplying effect, high added value and significant growth potential. Required for this task is the potential of the transport complex. The object of the study the authors selected Krasnodar Krai, which has a sufficiently strong economic potential. The analysis of the changes in transportation volumes and freight turnover by year in the Russian Federation and in the Krasnodar region have been identified and formalized their functional dependence. Knowing the value of the equation of the trend for a specific region, with a high degree of approximation, and make predictions.

**Keywords:** road transport, cargo handling, transport sector, economic indicators, economic potential.

### References

1. Analysis of changes in gross regional product of subjects of the Russian Federation. Konovalova T. V., Levitsky M. O., S. L. Nadiryan / Science. Technique. Technology (Polytechnic Bulletin). 2013. No. 1-2. P. 113-115.

2. Law Krasnodar Krai Law dated 29 April 2008 No. 1465-KZ Strategy for socio-economic development of Krasnodar region up to 2020 Adopted by the Legislative Assembly of Krasnodar region on 16 April 2008.

3. Logistics and Public passenger transport. Mirotin L. B. A Textbook. М.: "Examination", 2003. – 224 p.

4. Mirotin, L.B. Transport logistics: Textbook for transport universities/ L. B. Mirotin.– 3-e lzd., Rev. and extra – М.: INFRA - М, 2000. – 375 p..

5. Moiseev K.. Economic fundamentals of logistics. The tutorial. //Moscow. INFRA-M. 2008.528 with.

6. Evaluation of the efficiency of investments in transport and logistics systems. Kiriy K.A., Konovalova T.V., Nadiryan S.L. Humanitarian, socio-economic and social Sciences. 2014. № 8. P. 285-287.

7. the Efficiency of management of socio-economic development of administrative-territorial formations: Monograph / Dukanova I. V., Morozova T. N., Sukovatova O. P.; ed Terekhin V.I. - М.: research center INFRA-M, 2016. - 316 p.

8. Economic geography and regionalism: textbook / I. A. Kazieva, E. N. Kuziboev. - М.: INFRA-M, 2012. - 334 p.

*Коновалова Татьяна Вячеславовна (Россия, г. Краснодар) – канд. экон. наук, доцент, заведующая, доцент кафедры Организации перевозок и дорожного движения Кубанский государственный технологический университет. Направления научных исследований: организация безопасность движения; общее количество публикаций 125 статей. Город Краснодар, улица Московская, 2 корпус «В», e-mail: tan\_kon@mail.ru, 8918-465-09-31.*

*Надирян София Леоновна (Россия, г. Краснодар) – ассистент кафедры «Организации перевозок и дорожного движения» Кубанский государственный технологический университет. Направления научных исследований: транспорт, экономика, логистика, общее количество публикаций 105 статей. Город Краснодар, улица Московская, 2 корпус «В», e-mail:sofi008008@yandex.ru, 8918-46-58-019.*

*Миронова Юлия Петровна (Россия, г. Краснодар) – студентка кафедры «Организации перевозок и дорожного движения» Кубанский государственный технологический университет. Направления научных исследований: транспорт, экономика, логистика, общее количество публикаций 4 статей. Город Краснодар, улица Московская, 2 корпус «В», студентка группы 14-АБ-ТП2, e-mail: julia\_mironova95@mail.ru, 8964-938-61-95.*

*Миронова Мария Петровна (Россия, г. Краснодар) – студентка кафедры «Организации перевозок и дорожного движения» Кубанский государственный технологический*

университет. Направления научных исследований: транспорт, экономика, логистика, общее количество публикаций 6 статей. Город Краснодар, улица Московская, 2 корпус «В», студентка группы 16-АМ-ТП1, e-mail: julia\_mironova95@mail.ru, 8903-452-98-38.

Konovalova Tatyana Vyacheslavovna (Russian Federation, Krasnodar) – candidate. Ekon. Sciences, associate Professor, head, associate Professor of transportation and traffic Kuban state technological University. Areas of research: organization of traffic safety; total number of publications 125 articles, e-mail: tan\_kon@mail.ru, 8918-465-09-31.

Nadiryan Sofia Levonovna (Russian Federation, Krasnodar) – assistant of the Department "Organization of transportation and road traffic" of Kuban state technological University. Areas of research: transport, Economics, logistics,

total number of publications 105 articles, e-mail:sofi008008@yandex.ru, 8918-46-58-019.

Mironova Yuliya Petrovna (Russian Federation, Krasnodar) – student, Department "Organization of transportation and road traffic" of Kuban state technological University. Areas of research: transport, Economics, logistics, total number of publications 4 articles, e-mail: julia\_mironova95@mail.ru, 8964-938-61-95.

Mironova Maria Petrovna (Russian Federation, Krasnodar) – student of the Department "Organization of transportation and road traffic" of Kuban state technological University. Areas of research: transport, Economics, logistics, total number of publications 6 articles, e-mail: m.mironova.2014@mail.ru, 8903-452-98-38.

УДК 334.012

## КОНЦЕПЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЛОГИСТИКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИННОВАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

С.Е. Метелёв<sup>1</sup>, К.Н. Полеценко<sup>1</sup>, Д.Н. Коротаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Омский институт (филиал), Россия г. Омск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

**Аннотация.** Рассмотрена проблема формирования информационно-инновационного пространства региона на основе выстраивания инновационных коммуникаций между хозяйствующими субъектами. Показана роль интеллектуальной логистики в создании цепочек добавленной стоимости инновационных продуктов и услуг. Раскрыты базовые понятия интеллектуальной логистики: «информационный контур», «мезо-системный субъект» и «инновационная матрица». Показаны возможности проектирования информационно-инновационного пространства региона на основе интеллектуальной логистики.

**Ключевые слова:** инновационная система, инновационные коммуникации, информационный контур, интеллектуальная логистика, мезо-системные субъекты, информационно-инновационное пространство.

### Введение

Как показывает мировой опыт, стратегии социально-экономического развития территорий, ориентированные на инновационное развитие, инновации являются безальтернативными вариантами для решения задач быстрого повышения

конкурентоспособности регионов, особенно, в условиях кризисных явлений [1]. Наиболее динамичное развитие показывают регионы со сложившейся инновационной системой, которая включает в себя научные и образовательные организации, исследовательские центры, предприятия,

финансовые структуры, органы государственного управления, связанные инновационной цепочкой «образование – наука – производство – рынок» [2]. Создание тех или иных инфраструктурных элементов инновационной системы, как правило, направлены на преодоление барьеров, препятствующих активизации использования интеллектуального ресурса в направлении создания продуктов/услуг с высокой добавленной стоимостью. Анализ сложившейся ситуации на Омском региональном рынке инноваций показывает, что увеличение количества инфраструктурных инновационных элементов, в частности, создаваемых технопарковых структур [3, 4]: индустриального парка «Солнечный», политехнопарка Омского государственного технического университета, IT –парка, не решает проблем обеспечения инновационной деятельности интеллектуальным ресурсом и организации эффективных инновационных коммуникаций между хозяйствующими субъектами. Более того, в условиях экономического кризиса негативные тенденции в сфере инноваций усиливаются, поскольку при оптимизации издержек, в первую очередь, хозяйствующие субъекты сокращают расходы на инновационные проекты. В этой ситуации наиболее перспективным направлением инновационной деятельности является реализация инновационных проектов, основанных на кооперации хозяйствующих субъектов, которые оказываются не только исполнителями, но и соинвесторами. Однако для развития указанного подхода необходимы соответствующие условия, среди которых формирование инновационных коммуникаций между инфраструктурными элементами инновационной системы и другими хозяйствующими субъектами, является главным условием взаимовыгодного сотрудничества и обеспечения высоких темпов инновационного развития территории.

### **Функции инновационной коммуникации**

Термин «инновационные коммуникации» означает совокупность связей и отношений субъектов инновации при реализации новшеств в производстве, соединении экономических интересов на всех этапах

жизненного цикла инновации. Данная трактовка термина относится сугубо к экономической категории и фокусируется на проблеме субъектных экономических отношений в инновационной сфере [5].

Следует отметить, что сущность инновационных коммуникаций, образующихся в процессах коммерциализации продуктов интеллектуальной деятельности (новшеств), выходит за пределы ее экономического характера. В работе [5] предложено рассматривать инновационную коммуникацию в трех смысловых пространствах – деятельность, технология и культура. Как деятельность инновационная коммуникация направлена на материализацию научных идей, новаций. Технологический аспект инновационной коммуникации заключается в том, что для реализации научной идеи необходимы различные средства, предметы и структура. Наконец, коммуникация как творческий процесс образует особую инновационную культуру.

Применительно к управлению информацией и знаниями, задача инновационной коммуникации состоит в обеспечении эффективной архитектуры информационно-знаниевого обмена между взаимодействующими в инновационной деятельности хозяйствующими субъектами, базовым элементом, которой может служить информационный контур [6]. Идея информационного контура инновационной коммуникации в системе: наука, образование, власть, бизнес, впервые рассматривалась в работе [6].

Авторский подход к анализу понятия «инновационная коммуникация» ориентирован на раскрытие сущности формирования инновационных коммуникаций в процессе производства интеллектуального ресурса посредством формирования системы информационных контуров и управления информационно-знанием потоками. В основе управления инновационными коммуникациями лежит взаимодействие информации и знания, при котором происходит обмен ресурсами посредством инновационной деятельности. На основе схемы противоречий [7] (рис. 1) показан процесс данного взаимодействия.

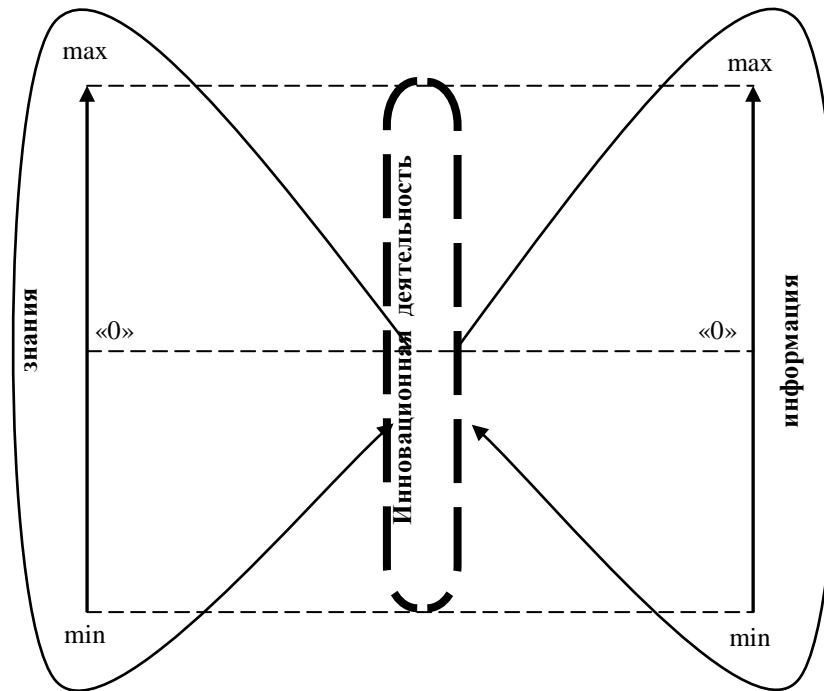


Рис. 1. Схема противоречий

В центре по вертикали, расположена инновационная образовательная деятельность, т. к. именно с помощью образования возможно преобразование информации в знание. Чем выше уровень информации, тем ниже уровень знаний, и наоборот, чем выше уровень знаний, тем ниже уровень информации. Таким образом, взаимодействие информация-знание носит возобновляющийся характер. Следовательно, как максимальных, так и минимальных значений одновременно в обеих областях, добиться невозможно. Нулевой уровень соответствует устойчивому состоянию системы, которое постоянно функционирует в заданных пределах. Тогда

знание можно определить в данном случае как информацию, для которой определена семантика [7]. Положение между «0» и min, или max в силу своей неустойчивости являются предпосылкой для управления инновационными коммуникациями.

Более детально устойчивость состояния данной системы, ее изменение во времени, можно описать при помощи модели компенсационного гомеостата, который является информационной единицей управления инвариантной материальному носителю [7] и служит механизмом поддержания динамического постоянства функционирования системы в заданных пределах (рис. 2) [7, 8].

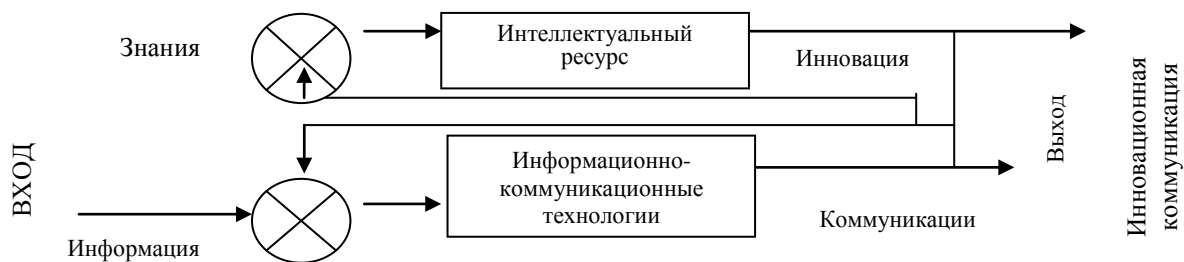


Рис. 2. Схема управления инновационными коммуникациями на основе модели компенсационного гомеостата

«Знания» и «информация» расположены на входе схемы, представленной на рисунке 2. Накопление знаний представляют собой некий интеллектуальный ресурс, который приводит к появлению инноваций в обществе. Преобразование информации информационно-коммуникационными

технологиями приводит к развитию коммуникаций. Устойчивость состояния исследуемого объекта такой гомеостатической модели можно рассмотреть при помощи четырех режимов (табл. 1).

Таблица 1 – Режимы устойчивости состояния гомеостатической модели управления инновационными коммуникациями

Режимы	Возможные варианты гомеостата	Управление инновационными коммуникациями	
		знания	информация
1	++	Инновационные коммуникации	
2	+–	Наличие инноваций	Отсутствие коммуникаций
3	–+	Отсутствие инноваций	Наличие коммуникаций
4	—	Отсутствие инноваций и коммуникаций; снижение контроля в управлении инновационными коммуникациями	

Устойчивое положение, показанное в таблице 1, является наиболее достоверным в 2 и 3 режимах, что соответствует нулевому положению в схеме противоречий (рис.1). Недостатком такого положения является отсутствие коммуникаций (режим 2), или инноваций (режим 3). При первом режиме с двумя положительными обратными связями (++) появляется возможность развития инновационных коммуникаций. Но такое положение является крайне неустойчивым, в силу развития инноваций и коммуникаций разными темпами. Данный режим соответствует положению между «0» и max в схеме противоречий. Режим 4 также является неустойчивым, что соответствует в схеме противоречий положению между «0» и min и приводит к отсутствию как инноваций, так и коммуникаций.

Такая трактовка расширяет формат смысловых пространств инновационной коммуникации, ее структурно-системные аспекты и раскрывает потенциальные возможности ее управленческой функции в создании системы субъект-полисубъектных отношений как определенно-заданной функционально-смысловой архитектуры, повышающей доступность к инновационным ресурсам всех ее участников посредством развития интеллектуальной логистики.

**Интеллектуальная логистика**

Инновационные коммуникации являются предметом интеллектуальной логистики, формирование которых осуществляется посредством информационно-знаниевого

обмена в открытой логистической информационной среде, сопровождающегося определенными интеллектуальными процедурами [9]. В качестве ключевых инфраструктурных звеньев логистической интеллектуальной системы могут выступать практические все элементы инновационной структуры региона. В качестве генерирующих звеньев могут выступать институты знаний: высшие учебные заведения, научно-исследовательские институты, институты Академии наук. В качестве звеньев, выполняющих функции производителей/потребителей могут выступать кластеры, крупные, средние промышленные предприятия, малые инновационные предприятия, бизнес-инкубаторы, индустриальные парки, технопарки. В качестве преобразующих звеньев - посреднические организации разного уровня: биржи, банки. В качестве интегрирующих звеньев могут рассматриваться практические сообщества и интеллектуальные коллаборации, включающие интеллектуальных предпринимателей, инноваторов, разработчиков, ученых, изобретателей.

Интеллектуальная логистика, как методология гибкого проектирования информационно-инновационных пространств взаимодействия хозяйствующих субъектов, участвующих в формировании цепочек создания добавленной стоимости, основывается на взаимоувязанной логистике информационно-знаниевых потоков и интеллектуальной ресурсной поддержке каждого этапа инновационного процесса. В

формате интеллектуальной логистики процесс производства является совместным производством услуги/продукта производителем и потребителем. В этом случае потребление инновационного продукта становится неотделимым от его производства.

Помимо инновационных коммуникаций, базовыми элементами интеллектуальной логистики являются понятия

«информационный контур» и «мезо-системный субъект». Информационный контур – пространство, в котором определенным образом организован обмен информационно-знанием потоками и иными ресурсами между участниками (субъектами) инновационной деятельности, включая так называемые мезо-системные субъекты (рис.3).

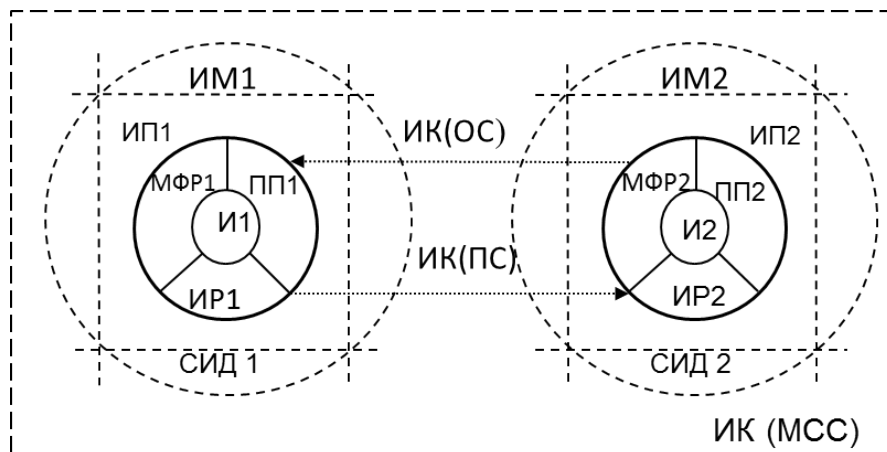


Рис. 3. Модель информационного контура мезо-системного субъекта

ИК (МСС) – информационный контур мезо-системного субъекта; СИД1, СИД2 – субъекты инновационной деятельности; I1, I2- инновации; МФР1, МФР2 – материально-финансовые ресурсы; ИМ1, ИМ2 – инновационные матрицы; ИП1, ИП2 – инновационные проекты; ИК(ОС), ИК(ПС) – инновационные коммуникации с прямой и обратной связью соответственно, ИР1, ИР2 – интеллектуальные ресурсы.

Мезо-системные субъекты (МСС) образуются в результате взаимодействия субъектов инновационной деятельности, обладающих интеллектуальным продуктом - инновационной матрицей. Инновационная матрица (ИМ) – своеобразный «документ», включающий проектное предложение, содержащее информацию об инновации, сопровождающееся анализом ее инновационного потенциала, с указанием требуемых материально-финансовых и интеллектуальных ресурсов для её реализации.

Интеллектуальная логистика посредством выстраивания инновационных коммуникаций между МСС позволяет осуществлять не только их координацию в процессе создания добавленной стоимости нового продукта/услуги, но и привлекать необходимые ресурсы за счет включения

дополнительных субъектов, обладающих не только материально-финансовыми ресурсами (МФР), но и интеллектуальными ресурсами, обладающими требуемыми компетенциями. Развитие данной модельной схемы возможно как путем вовлечения в инновационный процесс новых звеньев на уровне отдельных хозяйствующих субъектов, так и мезо-субъектов (МСС) – отдельных подразделений, ориентированных на инновационную деятельность. Мезо-системный субъект, связанный с тем или иным коммутантом (или коммутантами) через поле инновационных коммуникаций становится мезо-системным субъектом - одним из базовых «конструктивных» элементов интеллектуальной логистики. Степень значимости мезо-системных субъектов в цепочках создания добавленной стоимости зависит от уровня их инновационной активности, который, в свою очередь, зависит от уровня инновационного потенциала мезо-системного субъекта и интеллектуального ресурса, обеспечивающего инновационный процесс или ту или иную стадию инновационного процесса. Тем роль мезо-системного субъекта, участвующего в создании цепочек добавленной стоимости можно оценить только при «активации» его инновационного потенциала за счет притока

внешних ресурсов. Значимость мезо-системного субъекта, кроме того, будет зависеть от его статуса. Статус определяется его положением по отношению к предприятию: от институционально жестко-интегрированного до слабо-интегрированного и, наконец, институционально не интегрированного, однако функционально-связанного как с основным предприятием, так и с другими предприятиями – участниками инновационного процесса. В этом случае мезо-системный субъект приобретает статус малого инновационного предприятия (МИП). Помимо указанных институциональных аспектов мезо-системного субъекта, важное значение имеет его позиционирование в «системе координат» интеллектуальной логистики по отношению к рынкам. Рыночная ориентация мезо-системного субъекта в «системе координат» интеллектуальной логистики перестает зависеть от его институционального статуса.

**Проектирование информационно-инновационного пространства региона.** При разработке стратегий инновационного и социально-экономического развития регионов наблюдается, в основном, использование практик программирования территориального развития в направлении институализации с последующим стимулированием точек роста, как например, при реализации кластерного подхода. Эффективное функционирование инновационной составляющей социально-экономического развития экономики региона и отдельных ее подсистем, требует сбалансированного взаимодействия «жестких» вертикально-интегрированных, горизонтально-интегрированных и сетевых отраслевых модулей, включенных в

региональное информационно-инновационное пространство с учетом их стратегических и тактических интересов. При этом управляемость инновационного развития предполагает управление процессом формирования цепочек создания добавленной стоимости в информационно-инновационном пространстве региона [4, 10].

Инновационный потенциал интеллектуальной логистики заключается, во-первых, в продуцировании так называемых «мезо-инноваций», возникающих на пересечении логистических цепочек. Во-вторых, становится возможным разработка и реализация проектов и программ, связанных с интернализацией бизнеса, соконкуренцией, созданием международных альянсов, импортозамещением, кластерным развитием за счет межкластерного взаимодействия с включением их в стратегии регионов, учитывающих создание дополнительных цепочек добавленной стоимости. В третьих, конструирование мезо-системных объектов и встраивание их в инновационные цепочки в качестве мобильных бизнес-единиц, позволяет значительно расширить возможности симультанного (синхронного) управления проектами, реализуемых на различных уровнях организации инфраструктурных элементов региона. И, наконец, что наиболее важно, это дает возможность перейти к разработке межкластерных инновационных проектов на основе информационно-инновационных контуров - элементов «сборки» «конструктивных элементов» информационно-инновационного пространства региона (рис. 4).

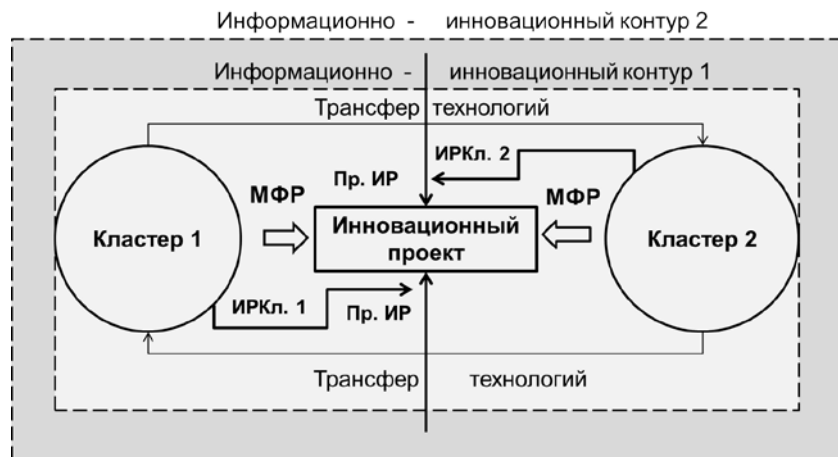


Рис. 4. Схема межкластерного взаимодействия при реализации инновационного проекта. Обозначения: МФР – материально-финансовые ресурсы; Пр.ИР – привлеченные интеллектуальные ресурсы; ИРКл.1 и ИРКл.2 интеллектуальные ресурсы кластера 1 и кластера 2, соответственно

Приведенная на рисунке 4 схема межкластерного взаимодействия лишь в первом приближении отражает возможности реализации межотраслевых инновационных проектов, развивающихся в пространстве «внутренних» и «внешних» информационно-инновационных контуров (ИНК) 1 и 2. ИНК не только очерчивают пространство организации инновационной деятельности и ее ресурсное обеспечение, но и показывают, что потребителями результатов инновационного проекта – продукта/услуги могут являться как внутренние потребители (кластеры), так и внешние потребители.

Интеллектуальная логистика в качестве методологической основы может быть использована для скоординированного развития указанных технологий на территории региона, генерируемых тремя секторами региональной экономики: сектором интеллектуального предпринимательства, сектором промышленного производства и сектором малого инновационного предпринимательства посредством проектирования информационно-инновационного пространства региона (ИИПР) путем сборки «инновационных матриц» (рис. 5).

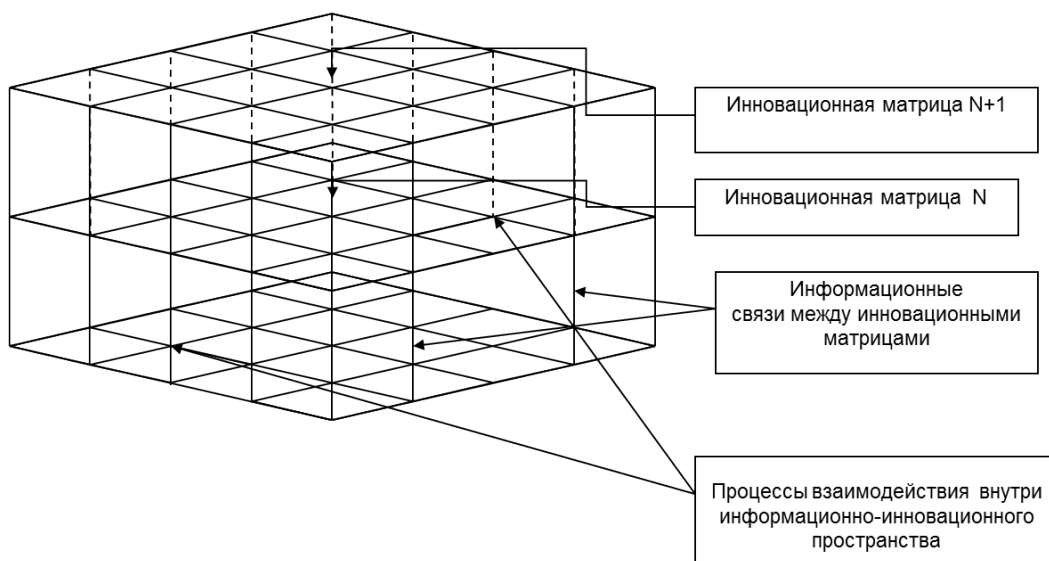


Рис. 5. Модель информационно-инновационного пространства

### Заключение

Наличие информационно-инновационного пространства региона позволяет реализовать три подхода к проектированию архитектуры выстраивания инновационных коммуникаций между участниками инновационного процесса: объектно-ориентированного - «сверху-вниз», субъектно-ориентированного - «снизу-вверх» и субъект-полисубъектного - «по-горизонтали». Указанные подходы могут взаимно дополнять друг друга в процессе реализации тех или иных стадий инновационного проекта, либо инновационных проектов, включенных в единую программу инновационного развития региона. Кроме того, проектирование ИИПР дает возможность интенсифицировать процессы межкластерного взаимодействия путем увеличения горизонтальных организационных структур, основанных на сетевом участии субъектов инновационной

деятельности. В этом случае не происходит разделения на объект и субъект управления, наблюдается встречный, согласованный процесс управления. Несмотря на то, что сетевой подход ограничен рамками вхождения в сеть, он может являться базовым на начальном этапе разработки инноваций, что позволит снизить инвестиционные риски. На региональном уровне становится возможным создать многочисленные сетевые связи, включающие как связи между однотипными участниками, так и между участниками, относящимися к разным уровням иерархии инновационной системы, включающие крупные, средние и малые инновационные предприятия. На практике сетевой подход может быть использован для создания единой сети внедрения инноваций и обслуживания входящих технологических и управленческих систем с целью повышения экономической



эффективности бизнеса и упрощения внедрения новых разработок. Кроме того, это позволит снизить затраты при разработке инновационных технологий и получить большой эффект благодаря как единовременному, так и массовому внедрению инноваций. В этом случае, наряду с промышленным сектором, становится возможным включение в сетевое взаимодействие сектора интеллектуальных услуг, управленческих, административных структур, образовательных учреждений, а также сектора негосударственных организаций и социальных групп, институтов гражданского общества, выступающих в качестве дополнительных источников административного и интеллектуального ресурсов.

### Библиографический список

1. General Electric Global Innovation Barometer – 2012 Global Results Report. URL: HTTP://www.ge.com/innovationbarometer.
2. Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / под ред. Б.З. Мильнера. – М.: ИНФРА, 2009. – 624 с.
3. Инновационная деятельность как фактор повышения эффективности производства / Н.П. Реброва, С.М. Хаирова, Т.В. Галюкшова [и др.] ; под ред. В.Л. Рачека. – Омск : Омский государственный институт сервиса, 2011. – 185 с.
4. Гринберг, П.Б. Анализ эффективности институциональных форм и моделей инновационного развития территорий в контексте интеллектуализации трудовых ресурсов (на примере Омской области) / П.Б. Гринберг, Т.М. Безбородова, Д.Н. Коротаев, К.Н. Полещенко // Вестник СибАДИ. – 2015. – Выпуск 4(44). – С. 144–150.
5. Ковалев, Г.Д. Инновационные коммуникации / Г.Д. Ковалев. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 288 с.
6. Полещенко, К.Н. Коммуникативные аспекты междисциплинарной подготовки инновационно-ориентированных управленческих кадров / К.Н. Полещенко, В.И. Разумов, Н.А. Щетинкин // Вестник Омского университета. – 2010. – № 4. – С. 264–270.
7. Горский, Ю.М. Гомеостатика: модели, свойства, патологии. Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем / Ю.М. Горский. – Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1990. – 350 с.
8. Степанов, А.М. Основы медицинской гомеостатики [Электронный ресурс] / А.М. Степанов. – Режим доступа: [http://read.newlibrary.ru/read/stepanov\\_a\\_m\\_/page0/osnovy\\_meditsinskoi\\_gomeostatiki.html](http://read.newlibrary.ru/read/stepanov_a_m_/page0/osnovy_meditsinskoi_gomeostatiki.html)
9. Полещенко, К.Н. Междисциплинарные основания процедур упаковки информационного пространства с использованием теории

динамических информационных систем / К.Н. Полещенко, В.И. Разумов, Л.И. Рыженко, В.П. Сизиков // Вестник Омского университета. – 2010. – №2 (56). – С. 224–229.

10. Intelektualizacija radnih resursa kao uslov inovacionog razvoja regiona: monografija / T.M. Bezborodova, K.N. Poleschenko, S.V. Jefimova – Omsk, 2016 – 145 s.

### INTELLECTUAL LOGISTICS IN FORMING OF REGIONAL INFORMATION AND INNOVATIVE SPACE

S.E. Metelyov<sup>1</sup>, K.N. Poleschenko<sup>1</sup>, D.N. Korotaev<sup>2</sup>

**Abstract.** The problem of forming of information and innovative space of the region on the basis of forming of innovative communications between accounting entities is considered. The role of intellectual logistics in creation of chains of creation of value added of innovative products and services is shown. Basic concepts of intellectual logistics are opened: "information contour", "the meso-system subject" and "an innovative matrix". Possibilities of designing of information and innovative space of the region on the basis of intellectual logistics are shown.

**Keywords:** innovative system, innovative communications, information contour, intellectual logistics, meso-system subjects, information and innovative space.

### References

1. General Electric Global Innovation Barometer – 2012 Global Results Report. URL: HTTP://www.ge.com/innovationbarometer.
2. Innovacionnoe razvitie ekonomika intellektualnie resursi upravlenie znaniyami / Pod red. B.Z. Milnera. M. INFRA, 2009, 624 p.
3. Innovacionnaya deyatelnost kak faktor povsheniya effektivnosti proizvodstva / N.P. Rebrova, S.M. Hairova, T.V. Galyukshova i dr.; pod red. V.L. Racheka. – Omsk: Omskii gosudarstvennii institut servisa, 2011, 185 p.
4. Grinberg P.B., Bezborodova T.M., Korotaev D.N., Poleschenko K.N. Analiz effektivnosti institucionalnih form i modelei inovacionnogo razvitiya territorii v kontekste intellektualizacii trudovih resursov na primere Omskoi oblasti. Vestnik SibADI. Voi. 4 (44), 2015, pp. 144-150.
5. Kovalev G.D. Innovacionnie kommunikacii. M. YuNITI, 2000, 288p.
6. Poleschenko K.N., Razumov V.I., Schetinkin N.A. Kommunikativnie aspekti mejdisciplinarnoi podgotovki innovacionno\_orientirovannih upravlencheskih kadrov. Vestnik Omskogo universiteta. 2010. no. 4. pp. 264-270.
7. Gorskii Yu.M. Gomeostatika modeli svoistva patologii. Gomeostatika jivih tehniceskikh socialnih i ekologicheskikh sistem. Novosibirsk. Nauka. Sib. otdelenie. 1990, 350 p.
8. Stepanov A.M. Osnovi medicinskoi gomeostatiki [Elektronii resurs]. Rejim dostupa. [http://read.newlibrary.ru/read/stepanov\\_a\\_m\\_/page0/osnovy\\_meditsinskoi\\_gomeostatiki.html](http://read.newlibrary.ru/read/stepanov_a_m_/page0/osnovy_meditsinskoi_gomeostatiki.html)

read.newlibrary.ru/read/stepanova.m./page0/osnovy medicinskoj gomeostatiki.html.

9. Poleschenko K.N., Razumov V.I., Rijenko L.I., Sizikov V.P. Mejdisciplinarnie osnovaniya procedur upakovki informacionnogo prostranstva s ispolzovaniem teorii dinamičeskikh informacionnih sistem. Vestnik Omskogo universiteta. 2010. no. 2 (56), pp.224-229.

10. Bezborodova T.M., Poleschenko K.N., Jefimova S.V. Intelektualizacija radnih resursa kao uslov inovacionog razvoja regiona: monografija. Omsk, 2016, 145 p.

*Метелёв Сергей Ефимович (Россия, г. Омск) – доктор экономических наук, профессор, директор Омского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова (644009, г. Омск, ул. 10 лет Октября, 195/18, e-mail: omsk@rea.ru).*

*Полеценко Константин Николаевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор Омского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова (644009, г. Омск, ул. 10 лет Октября, 195/18, e-mail: omsk@rea.ru).*

*Коротяев Дмитрий Николаевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Экономика и проектное управление в транспортном строительстве ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: drums99@mail.ru).*

*Metelyov Sergey Efimovich (Russian Federation, Omsk) is the Doctor of Economics, professor, the director of Omsk institute (branch) of Plekhanov Russian Academy of Economics (644009, Omsk, to st. is 10 years of October, 195/18, e-mail: omsk@rea.ru).*

*Poleshchenko Konstantin Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) - Doctor of Engineering, professor, professor of Omsk institute (branch) of Plekhanov Russian Academy of Economics (644009, Omsk, to st. is 10 years of October, 195/18, e-mail: omsk@rea.ru).*

*Korotaev Dmitriy Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Engineering, the associate professor, professor of the Economy department and project management in transport construction of FGBOU VO of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: drums99@mail.ru).*

УДК 331.1

### ЗАПРЕТ ДЕСТРУКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ И МОББИНГА ПЕРСОНАЛА В ЭТИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ РОССИЙСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

О.Ю. Патласов<sup>1</sup>, И.С. Калмыков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский региональный институт, Омск, Россия; Омская гуманитарная академия, Омск, Россия; <sup>2</sup>Омская гуманитарная академия, Омск, Россия

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию противодействия моббингу на рабочем месте. В рамках исследования проведен анализ кодексов корпоративного поведения сотрудников компаний в различных секторах экономики. Выявлены ограничения близкие к понятию моббинг и проанализировано наличие в этических документах ограничений, которые способствуют профилактике и недопущению моббинга на рабочем месте. Итогом проведенного анализа стал ряд рекомендаций по совершенствованию содержания этических документов компаний и учреждений.

**Ключевые слова:** корпоративная этика, моббинг, этические кодексы, способы психологического давления.

#### Введение

В условиях ужесточающейся конкуренции на рынке трудовых ресурсов не только между работниками, но и между работодателями, немаловажную роль играют условия труда, которые может предоставить работодатель. Обычно организация уделяет внимание материально-техническому обеспечению работника, упуская такой фактор как психологический климат и возможность

самореализации в коллективе. Часто сотрудники сталкиваются с различными трудностями в своей работе, которые связаны с агрессивным и не этичным поведением со стороны коллектива или со стороны руководства организации. Порой такого рода ограничения и притеснения могут продолжаться долгое время, что приводит в лучшем случае к увольнению сотрудника, а в худшем к его болезни или даже смерти.

Подобное явление носит название «моббинг».

«Моббинг персонала» (англ. mobbing от to mob – «нападать», «травить», а также ganging up) – в терминологии Международной организации труда психологические притеснения, преимущественно групповые, работника со стороны работодателя или других работников, включающие в себя постоянные негативные высказывания и критику в адрес работника, его социальную изоляцию внутри организации, исключение из его служебных действий социальных контактов, распространение о работнике заведомо ложной информации и т. п. [1]

Ранее авторами статьи был проведен пилотный социологический опрос трудоспособного населения, в ходе которого было опрошено 108 человек. В результате обработки полученных данных установлено, что 43,9 % респондентов испытывали на себе когда-либо акты психологического давления в ходе осуществления своей трудовой деятельности, 26,2 % респондентов признаются, что были вынуждены увольняться с предыдущего места работы из-за воздействия моббинг-действий. Наиболее часто в качестве моббинг-действий были использованы такие приемы как: поручение бессмысленных заданий, а также заданий не входящих в должностные обязанности сотрудника; принятие во внимание заслуг и идей; обсуждение личной жизни сотрудника [2].

Появления моббинга в коллективах является следствием слабой проработки вопросов нахождения людей в трудовом коллективе, в том числе и с точки зрения отсутствия четкого определения того, что можно считать ненормативным поведением в коллективе. Компенсировать недостаточное внимание к вопросу нормативного поведения на рабочем месте, а также установить какое именно поведение недопустимо и нежелательно в коллективе, призваны кодексы этического поведения или моральные кодексы поведения организации. Нередки случаи, когда руководство и высший менеджмент относятся к разработке указанных кодексов, как к чему-то второстепенному и утверждают типовые кодексы поведения, не учитывая всех аспектов и особенностей, которые имеет тот или иной коллектив. Ситуацию усугубляет отсутствие какого-либо модельного этического кодекса, содержащего в себе запрет на моббинг в организации и на ограничения, близкие к понятию моббинг.

Сотрудники на рабочих местах регулярно сталкиваются со стрессом и чувствуют его в своей жизни. Существует масса факторов, которые создают стресс. Одним из таких факторов является моббинг. Моббинг стал актуальной проблемой для обсуждения в последние годы в Европе и США [3]. Признав моббинг причиной стресса, МОТ опубликовала рекомендации «Контрольные точки профилактики стресса. Практические улучшения для профилактики стресса на рабочих местах». [4]. Отрицательные последствия стресса многообразны и могут включать проблемы, как с физическим, так и с психологическим здоровьем работников. Эти проблемы, в свою очередь, могут привести к снижению производительности труда, повышению рисков несчастных случаев и травматизма на производстве, а также снижают производительность труда. Так, некоторые исследователи отмечают, что жертвы травли на рабочем месте значительно чаще склонны к ожирению, расстройствам сна и курению. Кроме того, моббинг влечет за собой потерю работы, и ухудшение здоровья работников [5].

Сложность глобальной бизнес-среды создала множество проблем для менеджеров, и одной из важных проблем стал вопрос недопущения травли на рабочем месте. Быстрые темпы изменения и возрастающие сложности организационной среды бизнеса по всему миру увеличили возможности для издевательств на рабочих местах [6].

В России это новая концепция не потому, что моббинга не существует, но потому что это явление долгое время игнорировалось и не подвергалось изучению отечественными учеными, организациями, а также правительством в нашей стране. Поскольку методы моббинга меняются в зависимости от отраслей и профессий, важно проанализировать каждый сектор экономики, чтобы понять методы, используемые в моббинге и реакции жертв на эти действия. Анализ содержания этических документов может помочь в выяснении слабых сторон такого документа и позволит своевременно внести в него необходимые коррективы, а также установить зависит ли частота упоминания о недопустимости ограничений, близких к понятию моббинг, от отрасли экономики, в которой та или иная организация осуществляет свою деятельность.

### **Анализ этических кодексов на предмет фиксации моббинг-действий**

Нами было проведен анализ более 40 кодексов делового поведения компаний,

которые относились к следующим секторам экономики:

1. Операторы связи (Компания «Tele 2 Россия», Группа компаний «Вымпелком», ОАО «Мобильные ТелеСистемы», ОАО «МегаФон», ОАО «Ростелеком»);

2. Транспортные компании (ОАО «Аэрофлот», ОАО «РЖД» и т.д.);

3. Производственные предприятия (ОАО «Газпром», ОАО «Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ», ПАО «Камаз», ОАО «Ратеп» и т.д.).

4. Сфера образования (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт культуры», ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет» и т.д.);

5. Банковская сфера (ОАО АКБ «Банк Москвы», ОАО «Альфа-Банк», ПАО «Сбербанк России», и т.д.);

6. Торговые компании (ООО «М.Видео Менеджмент, Компания X5 Retail Group, Компания «Эльдорадо» и т.д.).

Для проведения анализа кодексов делового поведения компаний был выделен ряд ограничений, близких к понятию моббинг: Ограничение психологического давления (криков, ссор, угроз, запугивания, интриг и т.д.), наличие у работника возможности и права сообщить о притеснении, запрет на применение взысканий к сотруднику, заявившему о притеснении, запрет на разглашение сведений о личной жизни и персональных данных работника, запрет на протекционизм по принципу родства, семейного статуса, убеждений и т.д., запрет домогательства любого рода, запрет необоснованной, неконструктивной критики работника, а также необоснованных обвинений, запрет на сокрытие или искажение информации, необходимой для выполнения рабочих обязанностей, запрет на применение физического насилия в отношении членов коллектива, запрет принуждения к работе с превышением нормальных и сверхурочных часов, запрет на притеснение новых работников, запрет на принуждение к работе, выходящей за рамки должностных обязанностей.

В ходе анализа устанавливалось наличие упоминаний о каждом из перечисленных критериев, и в случае нахождения в тексте

этического документа упоминания о том или ином запрете, об этом делалась отметка.

После произведенного анализа этических документов всех исследуемых организаций и учреждений и сбора первоначальных данных, нами был произведен подсчет количества упоминаний об ограничениях, связанных с понятием моббинг в разрезе каждого из исследуемых секторов экономики и рассчитан совокупный уровень упоминания о том или ином ограничении в рамках конкретного экономического сектора с целью определения секторов экономики в этических документах компаний которых наиболее часто отражены ограничения, способствующие предотвращению развития моббинга на рабочем месте. Расчет проводился путем сравнения максимально возможного, в рамках данного исследования, количества упоминаний об ограничениях, близких к понятию моббинг и фактически обнаруженных в текстах этических документов организаций конкретного сектора экономики. Для установления частоты упоминания об ограничениях, направленных на противодействие возникновению моббинга в коллективе, для каждого из исследуемых секторов экономики был рассчитан показатель, определяемый как отношение числа фактически имеющихся упоминаний в тексте этических документов к максимально возможному, в рамках данного исследования, числу упоминаний для той или иной исследуемой группы компаний. Таким образом, максимально возможный показатель равен 1, что позволяет произвести анализ состояния, исследуемого вопроса в той или иной экономической сфере. Отметим, что полученные данные по секторам экономики носят укрупненный характер и применялись нами с целью наглядного сравнения полученных первичных данных.

Итоги произведенного расчета, в целях наглядного представления, представлены нами в виде диаграммы (рис. 1).

Далее нами, с использованием первичных данных, был произведен подсчет общего количества отметок по всем секторам экономики и рассчитан процент упоминания того или иного ограничения в кодексах этики в целом по всем секторам экономики. Подобный расчет был произведен с целью определения наиболее часто упоминаемых в кодексах корпоративной и деловой этики организаций и учреждений, выделенных нами ограничений. Итоги исследования по анализу содержания кодексов корпоративной этики представлены на рисунке 2.

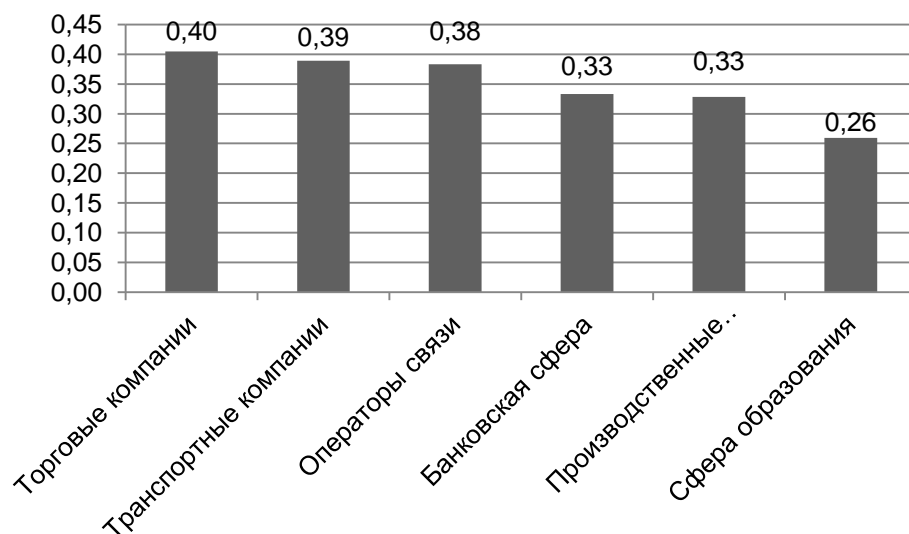


Рис. 1. Показатель частоты упоминания в этических документах компаний по секторам экономики

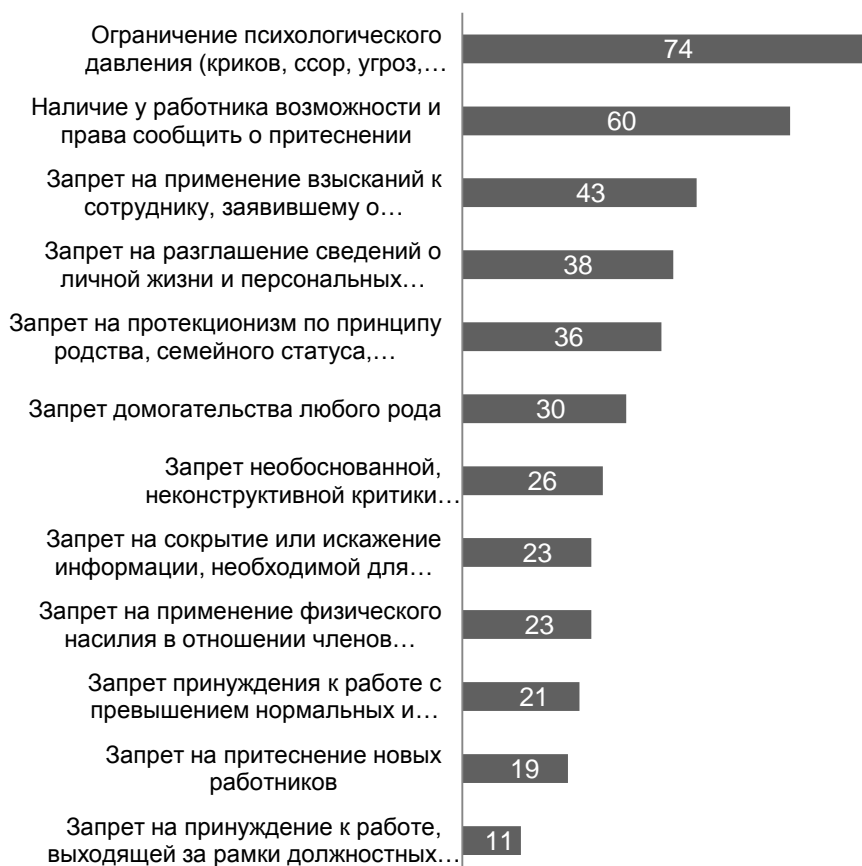


Рис. 2. Количество упоминаний о запретах и ограничениях, связанных с моббингом в текстах этических документов, %

### Результаты исследования

В ходе исследования было установлено, что наиболее частые упоминания о недопустимости поведения, которое можно квалифицировать как моббинг встречаются в кодексах этики и корпоративного поведения компаний, осуществляющих деятельность на территории европейских и иных зарубежных стран. Так, наиболее часто встречаются упоминания о недопустимости тех или иных форм притеснения и давления на работников в кодексах корпоративного поведения торговых и транспортных компаний, а также компаний-операторов связи. Анализ этических документов организаций банковской сферы, производственных организаций и учреждений образования дает возможность утверждать о низкой степени проработки вопросов отражения недопустимости деструктивного поведения в коллективах указанных секторов экономики. Подобное положение может привести к развитию внутри коллективов нездорового психологического климата, что негативно сказывается на заинтересованности сотрудников в труде и может привести к росту числа увольнений.

По нашему мнению данный факт связан с тем, что торговые и транспортные компании, а также компаний-операторы связи и осуществляют свою деятельность в зарубежных странах. Осуществление деятельности на территории той или иной страны оказывает влияние на содержание этических документов компании. Необходимо отметить, что в Европейских странах и США вопрос противодействия моббингу достаточно глубоко проработан. Так, в ряде европейских стран понятие моббинга законодательно закреплено, а соответственно за применение моббинг-действий предусмотрен ряд санкций как для работника, применившего моббинг, так и для работодателя, допустившего развитие продолжительного конфликта в трудовом коллективе [7, 8]. В связи с указанным выше фактом, осуществление деятельности на территории ряда зарубежных стран связано с разработкой и внедрения в этические документы организации ограничений возможности противодействия возникновению моббинга на рабочем месте.

Наименьший показатель получен в сфере образования. Данный факт может быть связан с тем, что учреждения образования осуществляют свою деятельность на территории Российской Федерации, где

законодательно не закреплено понятие моббинг и в целом вопрос психологического террора на рабочем месте недостаточно исследован. В связи с этим вопросу разработки и проработки аспектов защиты работников от моббинг-действий, в том числе и путем внесения запретов на применение моббинга и ограничений, близких к понятию моббинг, в тексты этических документов компаний и организаций, уделяется недостаточное внимание.

Если полученные в ходе исследования совокупные данные, по всем рассматриваемым секторам, перевести в процентное отношение, то можно сказать, что наиболее часто в своих этических документах организации уделяют внимание недопущению психологического давления, таких как, крики, ссоры, угрозы, запугивание и т.д. (74%) и возможности у работников сообщить о притеснениях на рабочем месте (60%). Наименьшее – запрету на принуждение к труду, выходящему за рамки должностных обязанностей (11%), запрету на притеснение новых работников (19%), запрету на принуждение к работе с превышением нормативных и сверхурочных часов работы (21%), а также запрету на применение физического насилия (23%) и запрету необоснованной и неконструктивной критики в отношении сотрудников (26%).

Отметим, что ряд организаций в своих этических документах указывают пункты, не описанные в данном исследовании, но способствующие защите работника от деструктивного поведения на рабочем месте. Так, в качестве таких ограничений, можно считать упоминание в текстах кодексов корпоративной этики следующих мер:

1. Наличие в кодексе корпоративного поведения подробной информации о примерах действий, приравненных к притеснению и домогательству (Кодекс поведения Группы компаний «ВымпелКом», Кодекс корпоративной этики ОАО «Альфа-Банк»);

2. Проведение мероприятий для развития навыков разрешения противоречий между сотрудниками (Кодекс корпоративной этики работников ФГУП «Горно-Химический Комбинат»);

3. Заявление критериев этического поведения сотрудников (Кодекс этики ОАО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»);

4. Указание случаев нарушения этики, о которых необходимо сообщать руководителю или в службу по работе с персоналом;

5. Указание на конкретные ситуации в формате «вопрос-ответ» (Кодекс корпоративной этики Сбербанка, Кодекс делового поведения Компании «Эльдорадо»).

Описанные выше результаты, наглядно показывают, что при осуществлении своей трудовой деятельности работник может быть подвержен моббингу на рабочем месте практически в любом из секторов экономики, так как в кодексах корпоративного поведения имеются пробелы, которые могут способствовать появлению моббинг-действий.

### Заключение

Таким образом, анализ этических документов организаций различных секторов экономики свидетельствует о слабой разработанности проблемы моббинга на рабочих местах. В связи с этим можно утверждать, что моббинг остается одной из острых и актуальных проблем современного рынка труда, являясь фактором, снижающим производительность труда сотрудников и повышающим отток квалифицированных и перспективных сотрудников из организации.

На основании вышеизложенного считаем целесообразным:

1. Разработку и внедрение модельного кодекса этического поведения сотрудников;

2. Внедрение понятия «моббинг», применяемого в терминологии Международной организацией труда, в модельный этический кодекс, а также в действующие этические документы организаций.

3. В модельном этическом кодексе считаем внедрение следующей формулировки: «В организации считается недопустимым проявление любых форм моббинга и психологического притеснения работников независимо от пола, возраста, занимаемой должности, трудового стажа, вероисповедания, и положения в обществе. Применение моббинг-действий, а равно и моббинга расценивается как нарушение трудовой дисциплины и должно быть немедленно предано огласке и справедливому разбирательству с целью разрешения конфликта и недопущения возникновения подобных ситуаций».

Применение предложенных выше мер будет способствовать формированию в организациях всех секторов экономики универсального инструмента регулирования внутренней среды организации, путем создания унифицированного модельного этического документа.

### Библиографический список

1. Патласов, О.Ю. Маркетинг персонала : учебник для бакалавров / О.Ю. Патласов. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2015. – С. 378–379.
2. Патласов, О.Ю. Технологии противодействия моббингу персонала на рабочем месте [Текст] / О.Ю. Патласов, И.С. Калмыков // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2016. – №1. – С. 234–242.
3. Ozgur Kokalan, Elvin Yelgecen Tigrel. Mobbing in Turkish health institutions. Quality & Quantity, Vol. 6 (48). November 2014, pp. 3081–3092.
4. International Labour Office. Stress prevention at work checkpoints: Practical improvements for stress prevention in the workplace [Электрон.ресурс]: International Labour Office. - Geneva, 2012.– Режим доступа: [http://www.ilo.org/global/publications/books/forthcoming-publications/WCMS\\_168053/](http://www.ilo.org/global/publications/books/forthcoming-publications/WCMS_168053/)
5. Jagdish Khubchandani, James H. Price. Workplace Harassment and Morbidity Among US Adults: Results from the National Health Interview. Survey Journal of Community Health, Vol. 3(40). June 2015, pp 555–563.
6. Michael Harvey, Darren Treadway, Joyce Thompson Heames, Allison Duke. Bullying in the 21st Century Global Organization: An Ethical Perspective. Journal of Business Ethics, March 2009.
7. Скавитин, А. Моббинг персонала: опыт зарубежных исследований / А. Скавитин // Управление персоналом. – 2004. – № 4.
8. Сыченко, Е. Защита работников от психосоциальных рисков: опыт Европы и его применимость в России. Часть II: Охрана работника от психологического преследования (домогательства) / Е. Сыченко // Трудовое право. – 2014. – № 8. – С. 75–85.

### BAN DESTRUCTIVE BEHAVIOR AND MOBING STAFF ETHICAL DOCUMENTS OF RUSSIAN ORGANIZATIONS

O.Yu. Patlasov<sup>1</sup>, I.S. Kalmykov<sup>2</sup>

**Abstract:** The article is devoted to counter mobbing in the workplace. The study analyzed the codes of corporate behavior of employees of companies in different sectors of the economy. Revealed limitations similar to the concept of mobbing and analyzed the presence of documents in the ethical constraints that contribute to the prevention and the prevention of mobbing in the workplace. The result of the analysis was a series of recommendations to improve the content of ethical documents of companies and institutions.

**Keywords:** corporate Ethics, mobbing, codes of ethics, methods of psychological pressure.

### References

1. Patlasov O.Yu. *Marketing personala: Uchebnik dlya bakalavrov* [Staff Marketing: A Textbook for bachelors], Moscow, «Dashkov i K», 2015. 384 p.
2. Patlasov O.Yu, Kalmykov I.S. Technology of counteracting mobbing in the workplace. The science of person: humanitarian researches, 2016, vol.23, no.1, pp 234-242.
3. Ozgur Kokalan, Elvin Yelgecen Tigrel. Mobbing in Turkish health institutions. Quality & Quantity, Vol. 6 (48). November 2014, pp 3081–3092.
4. International Labour Office. Stress prevention at work checkpoints: Practical improvements for stress prevention in the workplace [Электрон.ресурс]: International Labour Office. - Geneva, 2012. –Режим доступа [http://www.ilo.org/global/publications/books/forthcoming-publications/WCMS\\_168053/](http://www.ilo.org/global/publications/books/forthcoming-publications/WCMS_168053/)
5. Jagdish Khubchandani, James H. Price. Workplace Harassment and Morbidity Among US Adults: Results from the National Health Interview. Survey Journal of Community Health, Vol. 3(40). June 2015, pp 555–563.
6. Michael Harvey, Darren Treadway, Joyce Thompson Heames, Allison Duke. Bullying in the 21st Century Global Organization: An Ethical Perspective. Journal of Business Ethics, March 2009.
7. Skavitin A. Mobbing of personnel: the experience of foreign studies. Upravlenie personalom, 2004, no 4.
8. Sychenko E. Protecting workers from the psycho-social risks: the experience of Europe and its applicability in Russia. Part II: Protection of employees from psychological harassment (harassment). labor law, 2014, no 8. pp. 75 – 85.

*Патласов Олег Юрьевич (Россия, Омск), доктор экономических наук, профессор, Омский региональный институт, Омская гуманитарная академия (644105, Россия, Омская область, г.Омск, ул. Челюскинцев 4-я, д.2А, e-mail: opatlasov@mail.ru ).*

*Калмыков Игорь Сергеевич (Россия, Омск), аспирант Кафедры коммерции, маркетинга и рекламы, Омская гуманитарная академия (644105, Россия, Омская область, г.Омск, ул. Челюскинцев 4-я, д. 2А, e-mail: Kalmikov313@mail.ru).*

*Patlasov Oleg Yur'evich (Russian Federation, Omsk) – Dr. Econ. Sci, Omsk Regional Institute, Omsk Humanitarian Academy (644105, Russia, Omsk region, Omsk, st. Cheluskincev 4-ya, 2A).*

*Kalmykov Igor Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Graduate student, Omsk Humanitarian Academy (644105, Russia, Omsk region, Omsk, st. Cheluskincev 4-ya, 2A).*



## **Требования по оформлению рукописей, направляемых в научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»**

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: **Транспортное, горное и строительное машиностроение; Транспорт; Строительство и архитектура; Информатика, вычислительная техника и управление; Экономические науки.**

Рукопись должна быть оригинальной, не опубликованной ранее в других печатных изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы.

**1. 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, место работы и наименование города и страны. **Заглавие авторского материала,** поступающего в редакцию, на русском и английском языках, должно быть адекватным его содержанию и по возможности кратким.

**2. Аннотация.** Статья должна иметь развернутую аннотацию (не менее 500 символов) на русском и английском языках. 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.

**3. Ключевые слова** размещаются после аннотации, на русском и английском языках (не более 5 семантических единиц).

**4. Содержание научной (практической) статьи должны включать:**

- **вводную часть**, где автором обосновывается актуальность темы и целесообразность ее разработки, определяются цель и задачи исследования;

- **основную часть статьи**, разделенную на поименованные разделы, где автором на основе анализа и синтеза информации раскрываются процессы и методы исследования проблемы и разработки темы, подробно приводятся результаты проведенного исследования;

- **заключительная часть**, где автором формулируются выводы, даются рекомендации, раскрываются результаты исследования, содержащие научную новизну, указываются возможные направления дальнейших исследований.

По тексту обязательны **ссылки на источники информации** оформляются числами, заключенными в квадратные скобки (например [1]). Библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и тщательно выверяются. Если ссылка на источник информации в тексте статьи повторяется, то повторно в квадратных скобках указывается его номер из списка (без использования в библиографическом списке следующего порядкового номера и ссылки «Там же»). В случае, когда ссылаются на различные материалы из одного источника, в квадратных скобках указывают каждый раз еще и номер страницы, например, [1, с. 17] или [1, с. 28–29].

**5. Библиографический список.** Печатается по центру ниже основного текста и через строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту. Желательно, чтобы для статьи объемом в 5-7 страниц количество ссылок в библиографическом списке было не менее 8. Отсутствие необоснованного самоцитирования: доля ссылок на статьи авторов рукописи, изданные ранее, не должно превышать 25% от общего количества ссылок.

**6. Библиографический список на латинице (References).**

**7. Информация об авторах** (на русском / английском языке) Места работы всех авторов, их должности и контактная информация (если есть электронные адреса, обязательно указать их).

### **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. Формат А4, шрифт "Arial" (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный. **Поля:** верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5. **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. **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 страницы. **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 – Заголовок, 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.**

**В редакцию необходимо предоставить следующие материалы:**

- текст рукописи на русском языке в электронном 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;**

- **регистрационную карту автора:** фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, название организации, служебный адрес, телефон, e-mail;

- **рецензию специалиста с ученой степенью** по тематике рецензируемого материала. Рецензия должна быть заверенная в отделе кадров той организации, в которой работает рецензент;

- **экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати;

- **лицензионной договор** между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

- **справку о статусе** / месте учебы (если автор является аспирантом).

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.*

Редакция сохраняет за собой право производить литературную редакцию и коррекцию материалов в соответствии с требованиями современного русского языка и стилем издания 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](mailto:Vestnik_Sibadi@sibadi.org);

Почтовый адрес редакции: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Редакция научного рецензируемого журнала

«Вестник СибАДИ»,

патентно-информационный отдел – каб. 3226.

Тел. (3812) 65-23-45,

Выпускающий редактор «Вестника СибАДИ» – Мороз Марина Сергеевна

*Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.*

*Гонорары не выплачиваются.*

**Статьи аспирантов публикуются бесплатно.**

Информация о научном рецензируемом журнале «Вестник СибАДИ» размещена на сайте: <http://vestnik2.sibadi.org>