Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный
университет (СибАДИ)»

# ВЕСТНИК СИБАДИ

**Том 15, № 2. 2018. Сквозной номер выпуска – 60**
**(Vol. 15, no. 2. 2018. Continuous issue – 60)**

**Омск – 2018**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»
**ВЕСТНИК СибАДИ**
Научный рецензируемый журнал. Издается с 2004 г. Выходит 6 раз в год

Том 15, № 2. 2018
Сквозной номер выпуска – 60
(Vol. 15, no. 2. 2018. Continuous issue – 60)

Главный редактор **Жигадло А.П.,** д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., член-кор. АВН, ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Editor-in-Chief, **Zhigadlo A.P.,** Doctor of Pedagogics, Doctor of Science, Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Military Science, Rector of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

***Транспортное, горное и строительное машиностроение***

**Галдин Н.С.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Корытов М.С.,** д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

***Транспорт***

**Певнев Н.Г.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Витвицкий Е.Е.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

***Строительство и архитектура***

**Сиротюк В.В.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Чулкова И.Л.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

***Информатика, вычислительная техника и управление***

**Чуканов С.Н.,** д-р тех. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Мещеряков В.А.,** д-техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

***Экономические науки***

**Мочалин С.М.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Хаирова С.М.,** д-р экон. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

## EDITORIAL BOARD

***Transport, mining and mechanical engineering***

**Galdin N.S.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Korytov N.S.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

***Transport***

**Pevnev N.G,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Vitvitskiy E.E.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

***Construction and architecture***

**Sirotyuk V.V.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Chulkova I.L.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

***Informatics, Computer Science and Management***

**Chukanov S.N.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Meshcheryakov V.A.,** Doctor of Science, Associate Professor, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

***Economics***

**Mochalin S.M.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Khairova S.M.,** Doctor of Economics, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Корчагин П.А.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Щербаков В.С.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Ваклав Скала,** профессор University of West Bohemia, г. Пльзень, Чехия
**Винников Ю.Л.,** д-р техн. наук, проф., Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина
**Горынин Г.Л.,** д-р физ.-мат. наук, проф., ФГБОУ ВО «СурГУХМАО-ЮГРЫ», г. Сургут, Россия
**Жусупбеков А.Ж.,** д-р техн. наук, проф., член-кор. Национальной инженерной академии Республики Казахстан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.
**Карпов В.В.,** д-р экон. наук, проф., Омский филиал ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Омск, Россия
**Макеев С.А.,** д-р техн. проф. наук ФГБОУ ВО «СибАДИ» г. Омск, Россия
**Немировский Ю.В.,** д-р физ.-мат. наук, проф. Федеральне государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия
**Перегуд Я.А.** д-р экон. наук, проя. Высшая школа экономики в Варшаве (SGH), г. Варшава, Польша
**Подшивалов В.П.,** д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
**Хмара Л.А.,** д-р техн. наук, проф., Приднепровская государственная академия Строительства и Архитектуры, г. Днепропетровск, Украина

## MAIN EDITORIAL BOARD

**Korchagin P. A.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Shcherbakov V.S.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Václav Skala,** Professor of University of West Bohemia, Plsen, Czech Republic
**Vinnikov Yu. L.,** Doctor of Science, Poltava National Technical University by Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine
**Gorynin G. L.,** Doctor of Phys.-Math. of Sciences, prof., of "SurGUHMAO-Yugra", Surgut, Russia
**Zhusupbekov A.Zh.,** Doctor of Science, Professor, Corresponding Member of National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU by L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan
**Karpov V.V.,** Dr. of Econ. , Professor, Omsk Branch of the Federal State Educational Establishment of Finance of the Russian Federation "Financial University under the Government of the Russian Federation", Omsk, Russia
**Makeev S.A.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU V SibADI, Omsk, Russia
**Nemirovsky Yu.V.,** Doctor of Phys.-Math. Sciences, professor Federal State Budgetary Institution of Science "The Institute of Theoretical and Applied Mechanics by S.A. Khristianovich» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
**Peregood Ya.A.** Dr. Econ. Sciences, Professor, Higher School of Economics in Warsaw, Warsaw, Poland
**Podshivalov V.P.,** Doctor of Science, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
**Khmara L.A.,** Dr. Tech. , Professor, Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine

**Эдвин Козневски,** д-р техн. наук, проф., г. Белосток, Польша
**Боброва Т.В.,** д-р техн. наук, проф.,ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Леонович С.Н.,** д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
**Гумаров Г.С.,** д-р техн. наук, проф., член-кор. Российской Академии Естествознания, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан
**Шаршембиев Ж.С.,** д-р техн. наук, проф., Кыргызский Национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика
**Якунин Н.Н.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
**Ефименко В.Н.,** д-р техн. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия
**Якунина Н.В.,** д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
**Куршакова Н.Б.,** д-р экон. наук, проф., ОмГУПС (ОмИИТ), г. Омск, Россия
**Корнеев С.В.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия
**Миллер А.Е.,** д-р экон. наук, проф.,ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», г. Омск, Россия
**Романенко Е.В.,** канд. экон. наук, доц., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Хомченко В.Г.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия
**Боровик В.С.,** д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия
**Коротаев Д.Н.,** д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Лесовик В.С.,** д-р техн. наук, проф., член-кор. РААСН, БГТУ им. Шухова, г. Белгород, Россия
**Савельев С.В.,** д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
**Корягин М.Е.,** д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия
**Рассоха В.И.,** д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
**Кондратенко А.С.,** канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Россия
**Маткеримов Т.Ы.,** д-р техн. наук, проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизская Республика
**Курганов В.М.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия
**Матвеев С.А.,** д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**Edwin Koźniewski,** Doctor of Science, Professor, Bialystok, Poland
**Bobrova T.V.,** Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
**Leonovich S.N.,** Doctor of Science, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
**Gumarov G.S.,** Doctor of Science, Professor, member-cor. Russian Academy of Natural History, Eurasian National University. L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan
**Sharshembiev Zh.S.,** Doctor of Science, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic
**Yakunin N.N.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU VO "Orenburg State University", Orenburg, Russia
**Efimenko V.N.,** Doctor of Science, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia
**Yakunina N.V.,** Doctor of Science Sci., Assoc., Prof., FGBOU VO "Orenburg State University", Orenburg, Russia
**Kurshakova N.B.,** Dr. Econ. of Sciences, Professor, OmGUPS (OmiIT), Omsk, Russia
**Korneev S.V.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU V Omsk State Technical University, Omsk, Russia
**Miller A.E.,** Dr. Econ. Sciences, Professor, FGBOU VO "Omsk State University. F.M. Dostoevsky», Omsk, Russia
**Romanenko E.V.,** Cand. econ. in Science, Assoc., FGBOU V SibADI, Omsk, Russia
**Khomchenko V.G.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU V Omsk State Technical University, Omsk, Russia
**Borovik V.S.,** Doctor of Science, Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia
**Korotaev D.N.,** Doctor of Science, Assoc. Professor FGBOU IN SIBADI, Omsk, Russia
**Lesovik V.S.,** Doctor of Science, Professor, member-cor. RAASN, BSTU them. Shukhova, Belgorod, Russia
**Saveliev S.V.,** Doctor of Science, Assoc. Professor FGBOU IN SIBADI, Omsk, Russia
**Koryagin M.E.,** Doctor of Science, Associate Professor, FGBOUVO "Siberian State Transport University", Novosibirsk, Russia
**Rassokha V.I.,** Doctor of Science, Assoc., Professor, FGBOU VO "Orenburg State University", Orenburg, Russia
**Kondratenko A.S.,** Cand. tech. FGBOU VO "Siberian State University of Railway Transport (SGUPS)", IGD SB RAS, Novosibirsk, Russia
**Matkerimov T.I.,** Doctor of Science, Professor, KSTU them. I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyz Republic
**Kurganov V.M.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU VO "Tver State University", Tver, Russia
**Matveev S.A.,** Doctor of Science, Professor, FGBOU V SibADI, Omsk, Russia

Адрес издателя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. Тел. +7 (3812) 68-88-30;
режим доступа: vestnik.sibadi.org; e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ». Адрес учредителя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-70364 от 13 июля 2017 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 и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Входит в международный каталог Ulrich's International Periodicals Directory. Подписной индекс 66000 в каталоге (АО Агентства "РОСПЕЧАТЬ). С 2017 г. всем номерам и статьям журнала присваиваются цифровые идентификаторы объектов (DOI), данные о которых размещены в электронной версии на сайте vestnik.sibadi.org. Редакционный блок осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

Подписано в печать 20.04.2018 г. Дата выхода в свет 27.04.2018. Формат 60×84 ⅛. Гарнитура Arial. Печать оперативная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экземпляров. Отпечатано в типографии ИПК ФГБОУ ВО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5.

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

**РАЗДЕЛ I.**
**ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

*П.В. Бословяк, М.М. Жилейкин, А.А. Понитаев*
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАССЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ ЛЕНТОЙ ..... 168**

*А.С. Кадыров, Б.К. Курмашева, И.В. Георгиади*
**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» .. 179**

*В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов*
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ И ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ ..... 189**

*Р.Ю. Сухарев, В.В. Танский*
**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК КРЕПЛЕНИЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО КАНАТА НА КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬ ГРУЗА НА СТРЕЛЕ КРАНА-ТРУБОУКЛАДЧИКА ..... 199**

*С.И. Цехош*
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ ..... 207**

**РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ**

*Ю.А. Колебер*
**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНЫХ И КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОДХОДЫ ..... 218**

*Д.Н. Коротаев, К.Н. Полещенко, П.Б. Гринберг, Е.Е. Тарасов*
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ КЛАПАНОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТОПОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ..... 229**

*В.М. Курганов, А.Н. Дорофеев, В.М. Грязнов*
**НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ..... 237**

*С.М. Мочалин, М.Е. Каспер*
**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРОДЕ ОМСКЕ ..... 249**

**РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

*В.Ф. Ахтямов, Э.Н. Хафизова*
**ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ НЕРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ ..... 261**

*М.В. Морозова*
**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩИМ МАТЕРИАЛОМ ..... 269**

*Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толыпина, Е.Н. Хахалева*
**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТЬЮ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ И ИХ РЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ..... 276**

*А.Р. Соловьянчик, С.М. Пуляев, И.С. Пуляев*
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ ..... 283**

*Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, Д.Н. Пезин, Р.А. Тимохин*
**САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА ..... 294**

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

*В.А. Федорук*
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ КУБИЧЕСКИМИ СПЛАЙНАМИ С ПОМОЩЬЮ «МЕТОДИКИ СДВИГА» ..... 306**

**РАЗДЕЛ V. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Ю.В. Баранов*
**ОХРАНА ТРУДА В ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ ..... 316**

*О.В. Косенчук, А.В Зинич*
**ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ..... 321**

## CONTENTS

**PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING**

*P.V. Boslovyak, M.M. Jileykin, A.A. Ponitaev*
**MATHEMATICAL MODEL OF THE METAL-CONSTRUCTION LINEAR CONVEYOR MASS WITH SUSPENDED GEARBOXING TAPE ..... 176**

*A.S. Kadyrov, B. K. Kurmasheva, I.V. Georgiadi*
**ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF FOUNDATION CONSTRUCTION TECHNOLOGY BY THE "WALL IN THE GROUND" METHOD ..... 187**

*V.N. Kuznetsova, I.S. Kuznetsov*
**SIMULATION OF THE CONTACT PROCESS INTERACTIONS OF LAND-MOVING AND EARTH-TRANSPORT MACHINES' WORKING BODIES WITH FROZEN SOIL ..... 196**

*R. Y. Sukharev, V.V. Tanskiy*
**INFLUENCE ANALYSIS OF THE ATTACHMENT COORDINATES RELATING TO THE CARGO OSCILLATIONS ON THE PIPE LAYING CRANE'S BOOM ..... 204**

*S.I. Zachos*
**IMPROVEMENT OF THE MUNICIPAL MACHINE'S CONTROLLING SYSTEM ..... 215**

**PART II. TRANSPORT**

*Y. A. Kolber*
**INFORMATION SUPPORT OF PUBLIC PASSENGER TRANSPORT NETWORK OPTIMIZATION IN MAJOR CITIES: RELEVANCE AND APPROACHES ..... 226**

*D.N. Korotaev, K.N. Poleshchenko, P.B. Grinberg, E.E. Tarasov*
**IMPROVEMENT OF THE ION-PLASMA DUSTING METHOD OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES' VALVES BASING ON THE TOPOCOMPOSITE COVERINGS' MULTIFRACTAL ANALYSIS ..... 235**

*V.M. Kurganov, A.N. Dorofeev, M.V. Grjaznov*
**RATIONING OF FUEL CONSUMPTION WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY ..... 246**

*S. M. Mochalin, Maria Ev. Kasper*
**EVALUATION OF RESULTS OF PUBLIC MUNICIPAL PASSENGER TRANSPORT WORK IN OMSK ..... 258**

**PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

*V.F. Akhtyamov, E.N. Khafizov*
**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL NON-METALLIC PRODUCTION WASTES ON HEAVY WEIGHT CONCRETE PROPERTIES ..... 267**

*M.V. Morozova*
**OPERATING CHARACTERISTICS OF CONCRETE MODIFIED BY HIGH-VAPOR SAPONITE-CONTAINING MATERIAL..... 273**

*Sh. M. Rakhimbaev, N. M. Tolypina, E. N. KHakhaleva*
**INTERRELATION BETWEEN PLASTIC VISCOSITY OF CEMENT SYSTEMS AND THEIR RETHEHNOLOGICAL CHARACTERISTICS ..... 281**

*A.R. Solovyanchik, S.M. Pulyaev, I.S. Pulyaev*
**RESEARCH OF HEAT TREATMENT OF CEMENT USED IN CONSTRUCTION OF BRIDGE TRANSITION THROUGH KERCHEN STRAIT ..... 291**

*R.S. Fediuk, A.V. Mochalov, D.N. Pezin, R.A. Timokhin*
**SELF-COMPACTING CONCRETE WITH THE USE OF PLANT WASTE ..... 302**

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

*V. A. Fedoruk*
**IMPROVING THE EFFICIENCY OF EXPERIMENTAL DATA PROCESSING AT CUBIC SPLINES' INTERPOLATION BY "THE SHIFT TECHNIQUE"..... 313**

**PART V. ECONOMICS**

*Yu.V. Baranov*
**LABOR PROTECTION IN THE PERIOD OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ECONOMY ..... 319**

*O.V. Kosenchuk, A.V. Zinich*
**INDICATORS AND CRITERIA FOR ASSESSMENT OF MULTIFUNCTIONAL DEVELOPMENT OF RURAL TERRITORIES..... 327**

# РАЗДЕЛ I.
# ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621. 867

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАССЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ ЛЕНТОЙ

***П.В. Бословяк[1], М.М. Жилейкин[2], А.А. Понитаев[3]***
*[1]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Москва, Россия;*
*[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Москва, Россия;*
*[3]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Москва, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с оптимизацией металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной грузонесущей лентой. В работе кратко приводятся существующие научные и конструкторские разработки данного типа конвейера. Особое внимание уделяется использованию методик, позволяющих добиться снижения массы металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной лентой.*

***Методы и материалы.*** *Авторами разработана и подробно представлена математическая модель металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной грузонесущей лентой, состоящая из целевой функции и систем ограничений, которая позволяет реализовать современные подходы при проектировании металлоконструкции, тем самым снижая массу конвейера в целом.*

***Результаты.*** *По результатам выполненных исследований представлены значения напряжений и прогибов, возникающих в металлоконструкции линейной секции различной конструкции, в зависимости от разной производительности конвейера с подвесной лентой. Проведена процедура оптимального проектирования металлоконструкции линейной секции с различным типоразмером конвейера с подвесной лентой, выполненная для минимального и максимального значения производительности. Авторами представлены результаты оптимальных поперечных сечений стержней и раскосов металлоконструкции конвейера.*

***Обсуждение и заключение.*** *Установлено, что применение современных подходов, в частности оптимизации, к проектированию металлоконструкции конвейера позволяет улучшить массогабаритные показатели всего конвейера.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *металлоконструкция, конвейер с подвесной лентой, линейная секция, оптимальное проектирование, целевая функция.*

## ВВЕДЕНИЕ

На современном производстве и в строительстве машины непрерывного транспорта являются незаменимыми средствами, позволяющими выполнять поставленные задачи [1,2,3]. Поэтому происходит развитие и совершенствование конвейерного транспорта, в частности специального ленточного конвейера с подвесной грузонесущей лентой [4,6,7]. Использование методик, позволяющих добиться снижения массы металлоконструкции линейной части, является актуальной задачей на начальной стадии проектирования конвейера с подвесной лентой [8,9].

Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой (КПЛ) нашли применение в химической, горнодобывающей, транспортной промышленности и в других областях производства [10,11,12,13]. Они имеют существенную отличительную конструктивную особенность от традиционных ленточных конвейеров. Вместо роликовых опор, стационарно установленных по всей длине трассы конвейера на грузонесущей и обратной ветви, в конструкции данного конвейера применяются роликовые каретки, к которым через гибкие элементы крепится конвейерная лента. Каретки движутся по трубчатым направляющим, перемещая ленту с грузом (рисунок 1) [14,15].

*Рисунок 1 – Конвейер с подвесной грузонесущей лентой*
*Figure1 – Conveyor with overhead carrying belt*

Одним из основных узлов КПЛ является металлоконструкция (МК), которая условно разделяется на три узла – МК натяжной станции, МК линейной части, МК приводной станции, состоящих из набора стержней и раскосов.

Подробно рассмотрим металлоконструкцию линейной части КПЛ, состоящую из набора МК линейных секций, количество которых зависит от длины конвейера и составляет относительное большинство от его общей массы металлоконструкции. Следовательно, при проектировании КПЛ важной задачей является снижении массы МК линейной части, что достигается использованием современных подходов при проектировании транспортирующих машин.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Возможно несколько вариантов исполнения линейной секции. На рисунке 2 представлен разработанный универсальный вариант МК линейной секции КПЛ, включающий наличие потенциальных избыточных стержней и раскосов с возможностью последующего их исключения из металлоконструкции.

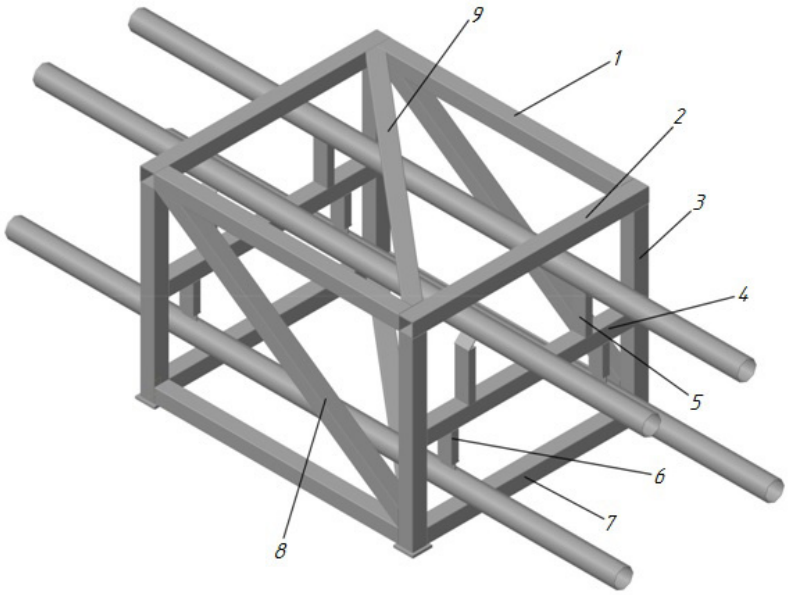



*Рисунок 2 – Металлоконструкция линейной секции КПЛ: 1 – продольный стержень; 2 – поперечный стержень; 3 – вертикальный стержень; 4 – поперечный стержень; 5 – вертикальная стойка грузовой ветви; 6 – вертикальная стойка холостой ветви; 7 – поперечный стержень; 8 – раскос; 9– раскос*
*Figure 2 – Metal structure of the linear section of the COB: 1 – longitudinal rod; 2 – transverse rod; 3 – vertical rod; 4 – transverse rod; 5 – vertical stand of cargo branch; 6 – vertical stand of the idle branch; 7 – transverse rod; 8 – brace; 9 – brace*

Масса МК линейной части КПЛ формируется следующей формулой:

$$M = p(j_1m_1 + j_2m_2 + j_3m_3 + j_4m_4 + j_5m_5 + j_6m_6 + j_7m_7 + j_8m_8 + j_9m_9), \quad (1)$$

где p – количество линейных секций МК конвейера; $j_i$ – признак наличия i-го стержня (раскоса) в конструкции ($j_i$ =1 – стержень (раскос) присутствует; $j_i$ = 0 – стержень (раскос) отсутствует); $m_i$ – масса отдельного i-го стержня или раскоса (рисунок 2) [9, 15].

Постановка задачи условной параметрической оптимизации сводится к минимизации целевой функции МК линейной секции КПЛ, т.е. к снижению ее массы, при выполнении систем ограничений, накладываемых на нее.

На начальном этапе формируются векторы варьируемых (управляемых) и неварьируемых (неуправляемых) параметров [9]. Для этого осуществляется подробный анализ узла МК линейной секции, из которого следует, что масса металлоконструкции зависит минимум от тридцати одного, максимум от сорока пяти размерных величин. Управляемыми могут являться минимум двадцать девять величин, максимум – сорок три, из которых формируется вектор варьируемых параметров.

Для расчетной схемы МК линейной секции (рисунок 3) в зависимости от выбранного оптимального поперечного сечения стержней 1 – 9 (рисунок 4) вектор варьируемых параметров имеет вид

$$\{x\}^T=\{x_1\ x_2\ldots x_w\}=\{l_1^r\ l_2^r\ldots l_4^r\ldots l_7^r\ldots l_9^r\ t_1\ t_2\ldots t_9\ a_1\ a_2\ldots a_9\ b_1\ b_2\ldots b_9\ e_1\ e_2\ldots e_9\ d_1\ d_2\ldots d_9\ f_1\ f_2\ldots f_9\ c_1\ c_2\ldots c_9\ s_1\ s_2\ldots s_9\ h_1\ h_2\ldots h_9\ g_1\ g_2\ldots g_9\ k_5\ k_6\ldots k_8\ D_5\ D_6\ldots D_8\}, \quad (2)$$

где w – количество управляемых параметров МК линейной секции; r – тип профиля поперечного сечения (r = п – прямоугольная труба; r = ш – швеллер; r = у – уголок; r = к – круглая труба).

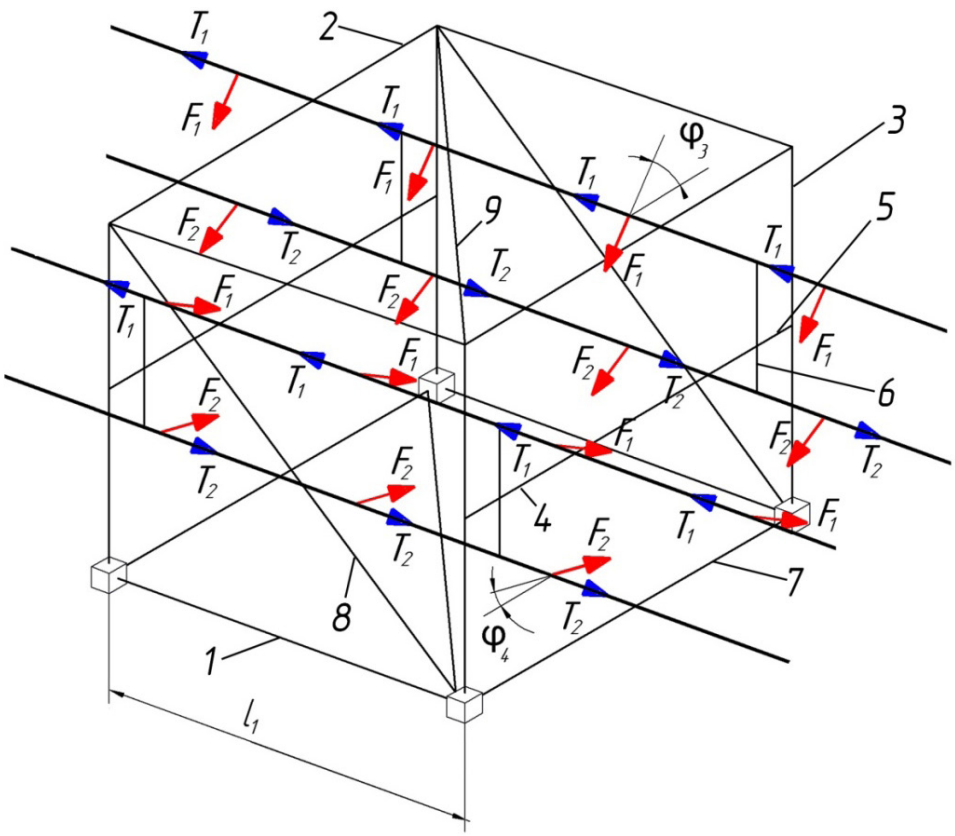
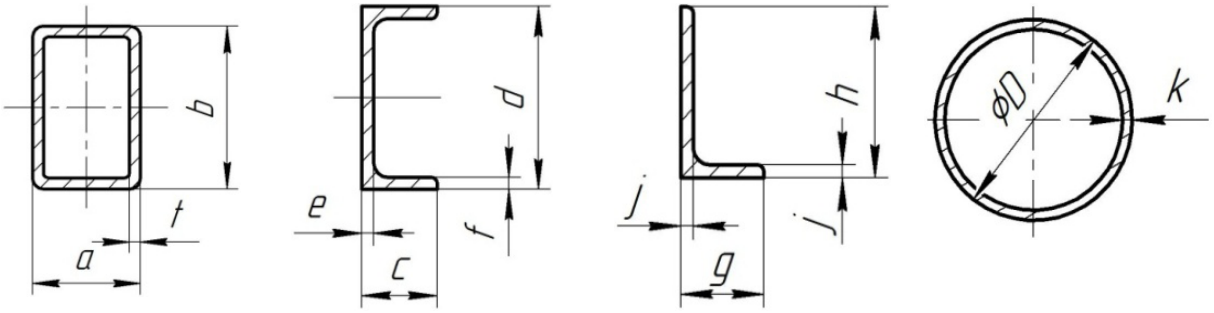



*Рисунок 3 – Универсальная расчетная схема МК линейной секции стационарного КПЛ [9]*
*Figure 3 – Universal calculating scheme of the MS linear section of the stationary COB [9]*

Неуправляемыми параметрами МК линейной секции являются длины стержней 5 и 6 (рисунок 2), которые определяются в зависимости от формы поперечного сечения конвейерной ленты. Поэтому вектор неварьируемых параметров примет вид

$$\{z\}^{T}=\{z_1\ z_2\}=\{\ l_5^{r}\ l_6^{r}\}. \qquad (3)$$




*а* *б* *в* *г*

*Рисунок 4 – Профили поперечного сечения детали металлоконструкции [16, 17]:*
*а – прямоугольная труба; б – швеллер; в – уголок; г – круглая труба*
*Figure 4 – Cross-sectional profiles of metal structure details [16, 17]:*
*a – rectangular tube; b – channel; c – angle; d – round tube*

Задача оптимального проектирования МК линейной секции КПЛ с учетом (2) и (3) сводится к минимизации целевой функции вида

$$\begin{aligned}
Ц(\{x_i^c\},\{z_i^c\}) =&\{j_1^{п}8n_1\rho_1x_1^{п}x_2^{п}\ (x_3^{п}+\ x_4^{п}-2\ x_2^{п})+j_1^{ш}4n_1\rho_1x_1^{ш}[x_2^{ш}(x_3^{ш}-2\ x_4^{ш})+2\ x_5^{ш}x_4^{ш}]+\\
&+j_1^{у}4n_1\rho_1x_1^{у}x_2^{у}(x_3^{у}+x_4^{у}-x_2^{у})\}+\{j_2^{п}2n_2\rho_2x_5^{п}x_6^{п}\ (x_7^{п}+x_8^{п}-2\ x_6^{п})+j_2^{ш}n_2\rho_2x_6^{ш}[x_7^{ш}(x_8^{ш}-2\ x_9^{ш})+2\ x_{10}^{ш}x_9^{ш}]+\\
&+j_2^{\ у}n_2\rho_2x_5^{у}x_6^{у}(x_7^{у}+\ x_8^{у}-x_6^{у})\}+\{j_3^{п}8n_3\rho_3x_9^{п}x_{10}^{п}(x_{11}^{п}+\ x_{12}^{п}-2\ x_{10}^{п})+j_3^{ш}4n_3\rho_3x_{11}^{ш}\ [x_{12}^{ш}(x_{13}^{ш}-2\ x_{14}^{ш})+\\
&+2\ x_{15}^{ш}\ x_{14}^{ш}\ ]+j_3^{\ у}4n_3\rho_3x_9^{у}x_{10}^{у}(x_{11}^{у}+x_{12}^{у}-x_{10}^{у})\}+\{j_4^{п}4n_4\rho_4x_{13}^{п}x_{14}^{п}\ (x_{15}^{п}+x_{16}^{п}-2\ x_{14}^{п})+\\
&+j_4^{ш}n_4\rho_4x_{16}^{ш}[x_{17}^{ш}\ (x_{18}^{ш}-2\ x_{19}^{ш}\ )+x_{20}^{ш}x_{19}^{ш}\ ]+j_4^{\ у}2n_4\rho_4x_{13}^{у}x_{14}^{у}(x_{15}^{у}+x_{16}^{у}-x_{14}^{у})\}+\{j_5^{п}8n_5\rho_5z_1^{п}x_{17}^{п}(x_{18}^{п}+\\
&+x_{19}^{п}-2\ x_{17}^{п})+j_5^{ш}4n_5\rho_5z_1^{ш}[x_{21}^{ш}(x_{22}^{ш}-2\ x_{23}^{ш})+2x_{24}^{ш}x_{23}^{ш}]+j_5^{\ у}4n_5\rho_5z_1^{у}x_{17}^{у}(x_{18}^{у}+\ x_{19}^{у}-x_{17}^{у})+\\
&+j_5^{к}4n_5\pi\ \rho_5z_1^{к}x_1^{к}\ (x_2^{к}-x_1^{к})\}+\{j_6^{п}4n_6\rho_6z_2^{п}x_{20}^{п}(x_{21}^{п}+x_{22}^{п}-2\ x_{20}^{п})+\ j_6^{ш}2n_6\rho_6z_2^{ш}[x_{25}^{ш}(x_{26}^{ш}-2\ x_{27}^{ш})+ \qquad (4)\\
&-2x_{28}^{ш}x_{27}^{ш}]+j_6^{\ у}2n_6\rho_6z_2^{у}x_{20}^{у}(x_{21}^{у}+x_{22}^{у}-x_{20}^{у})+j_6^{к}2n_6\pi\ \rho_6z_2^{к}x_3^{к}(x_4^{к}-x_3^{к})\}+\{j_7^{п}\ 4n_7\rho_7x_{23}^{п}x_{24}^{п}(x_{25}^{п}+\\
&+\ x_{26}^{п}-2\ x_{24}^{п})+j_7^{ш}2n_7\rho_7x_{29}^{ш}[x_{30}^{ш}\ (x_{31}^{ш}-2\ x_{32}^{ш})+2\ x_{33}^{ш}x_{32}^{ш}]+j_7^{у}2n_7\rho_7x_{23}^{у}x_{24}^{у}\ (x_{25}^{у}+\ x_{26}^{у}-\ x_{24}^{у})+\\
&+j_7^{к}2n_7\ \pi\ \rho_7x_5^{к}x_6^{к}\ (x_7^{к}\ -x_6^{к})\}+\{j_8^{п}4n_8\rho_8x_{27}^{п}x_{28}^{п}(x_{29}^{п}+\ x_{30}^{п}-2\ x_{28}^{п})+j_8^{ш}\ 2n_8\ \rho_8x_{34}^{ш}[x_{35}^{ш}(x_{36}^{ш}-2\ x_{37}^{ш})+\\
&+2\ x_{38}^{ш}x_{37}^{ш}]+j_8^{у}2n_8\ \rho_8x_{27}^{у}x_{28}^{у}(x_{29}^{у}+x_{30}^{у}-x_{28}^{у})+j_8^{к}2n_8\pi\ \rho_8x_8^{к}x_9^{к}\ (x_{10}^{к}-x_9^{к})\}+\{j_9^{п}2n_9\rho_9x_{31}^{п}x_{32}^{п}(x_{33}^{п}+\\
&+x_{34}^{п}-2\ x_{32}^{п})+j_9^{ш}n_9\rho_9x_{39}^{ш}[x_{40}^{ш}(x_{41}^{ш}-2\ x_{42}^{ш})+2x_{43}^{ш}x_{42}^{ш}]+j_9^{у}n_9\rho_9x_{31}^{у}x_{32}^{у}(x_{33}^{у}+x_{34}^{у}-\ x_{32}^{у})\}+\\
&+j_9^{к}2n_9\ \pi\ \rho_9x_{11}^{к}x_{12}^{к}(x_{13}^{к}-x_{12}^{к})\},
\end{aligned}$$

где $\rho_i$ – плотность материала стержня и раскоса МК линейной секции.

Конструктивные ограничения на длины стержней и раскосов предполагают выполнение условий:

- вертикальные стержни 3 (см. рисунок 3) не рекомендуется устанавливать с шагом вдоль трассы КПЛ более 4 метров. С увеличением данного расстояния происходит существенный рост динамических усилий на направляющие от движущихся по ним роликовых кареток [5]

$4 - l_1 > 0$; (5)

- расстояние между секциями $l_{лс}$ зависит от длины секции $l_1$ [5]:

$l_{лс} \le (0{,}8\ldots1{,}5)\ l_1$, (6)

где $l_1$ – шаг стоек линейной секции вдоль трассы КПЛ ( см. рисунок 3).

К числу прочностных ограничений относятся выполнения следующих условий [18]:

- не превышение внешними усилиями, возникающими при центральном растяжении или сжатии стержней, допускаемых величин в расчетах на статическую прочность и на устойчивость;
- не превышение внешними усилиями допускаемых величин изгибающих моментов при расчете на статическую прочность.

Жесткостные ограничения должны обеспечивать условия не превышения МК величин допускаемых прогибов [19].

С целью выявления картины распределения напряжений и прогибов, возникающих в МК линейной секции, в зависимости от различной производительности на начальном этапе исследований для всех стержней и раскосов предварительно было принято одинаковое поперечное сечение – квадратный профиль 20×20 мм. В качестве направляющих использовалась круглая труба Ø57×3,5 мм [5], хорошо зарекомендовавшая себя при эксплуатации КПЛ.

В ходе оптимального проектирования геометрические размеры профилей направляющих не подвергались оптимизации. Это допущение было принято, поскольку с уменьшением профиля направляющих снижаются размеры роликовых кареток, а соответственно и роликов, двигающихся по направляющим. В результате возникает вероятность заклинивания роликов при огибании криволинейных направляющих (переход роликов с грузовой ветви на обратную ветвь) вблизи приводного и натяжного барабанов.

Из опыта проектирования и эксплуатации КПЛ размер ширины ленты в проводимых исследованиях МК линейной секции принимался в диапазоне 0,65...1,2 м [5].

В процессе оптимального проектирования МК линейной секции было принято допущение равномерной загрузки ленты. При этом производительность конвейера будет меняться прямо пропорционально скорости транспортирования груза.

Нагрузки, действующие на МК линейной станции со стороны подвески, ленты и груза, определялись зависимостями (см. рисунок 3):

• поперечные нагрузки $F_1$ на участке грузовой ветви

$$F_1 = k_д\left(\frac{gQ}{3{,}6\upsilon}\frac{k_н}{k_в k_г}+\frac{4G_п g}{l_п}+\frac{gG_л B}{2l_п}\right)/v_1; \quad (7)$$

• поперечные нагрузки F2 на участке обратной ветви

$$F_2 = k_д\left(\frac{4G_п g}{l_п}+\frac{gG_л B}{2l_п}\right)/v_2; \quad (8)$$

• продольные нагрузки $T_1$ на участке грузовой ветви

$$T_1 = k_д k_э\left[k_{дп}L_г\frac{C}{D}(\mu\mu+2k)\left(\frac{gQ}{3{,}6\upsilon}\frac{k_н}{k_в k_г}+\frac{4G_п g}{l_п}+\frac{gG_л B}{2l_п}\right)\pm\frac{gQ}{3{,}6\upsilon}\frac{k_н}{k_в k_г}H\right]/v_1; \quad (9)$$

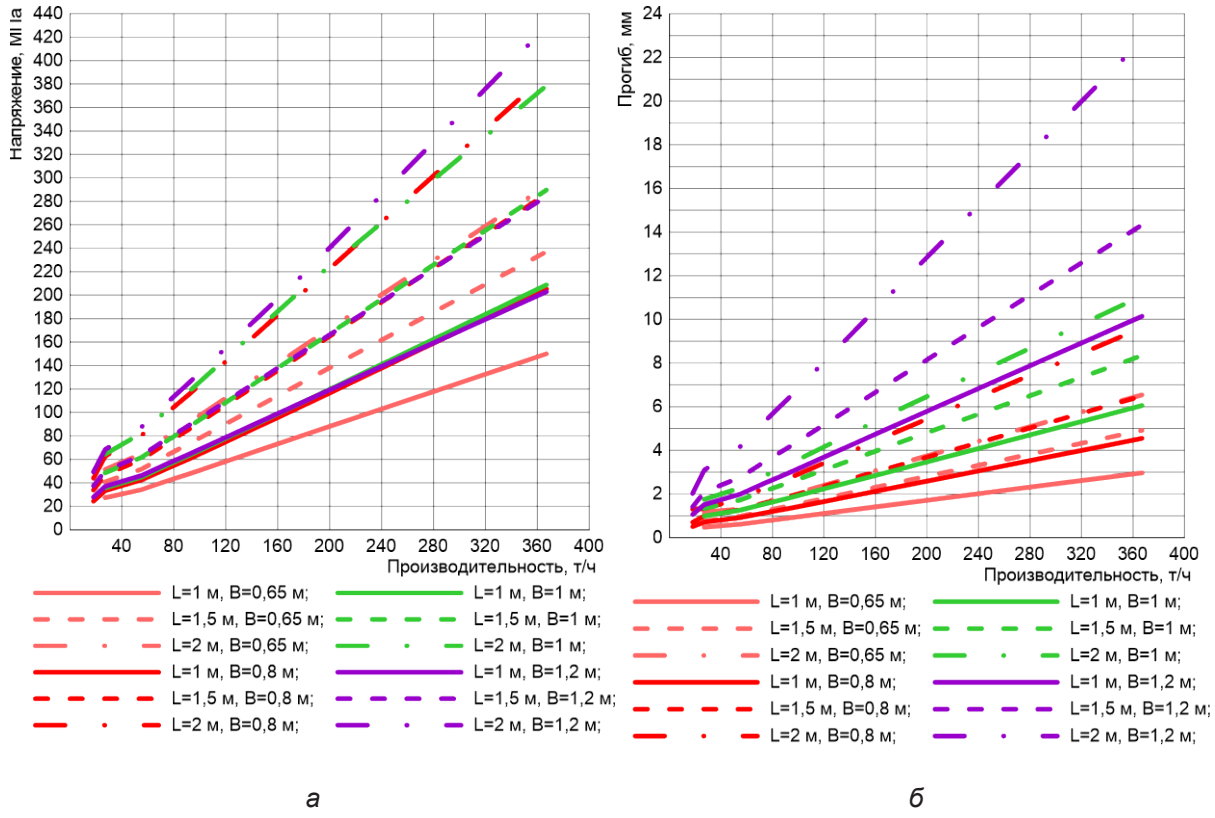
• продольные нагрузки $T_2$ на участке обратной ветви

$$T_2 = k_д\left[k_{дп}L_г\frac{C}{D}(\mu\mu+2k)\left(\frac{4G_п g}{l_п}+\frac{gG_л B}{2l_п}\right)/v_2\right], \quad (10)$$

где $k_д$ – коэффициент динамичности; Q – производительность конвейера; $k_н$ – коэффициент неравномерной загрузки КПЛ; $k_в$ – коэффициент использования КПЛ по времени; $k_г$ – коэффициент готовности КПЛ; $G_л$ – масса конвейерной ленты; H – вертикальная проекция длины КПЛ; B – ширина конвейерной ленты; $G_п$ – масса подвесок; $l_п$ – шаг подвесок; $k_{дп}$ – коэффициент учета дополнительных сопротивлений при изгибе направляющего пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях; $L_г$ – горизонтальная проекция длины КПЛ; $v_1$, $v_2$ – количество подвесок на участках грузовой и обратной ветвей КПЛ соответственно; μ – коэффициент трения оси ролика каретки; d – диаметр оси ролика; k – коэффициент трения качения ролика по направляющей; C – коэффициент дополнительных сопротивлений; D – диаметр ролика подвески.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчет напряжений и прогибов, возникающих в металлоконструкции линейной секции КПЛ, выполнен в программном комплексе Siemens NX. Результаты представлены на рисунке 5.




*а* *б*

*Рисунок 5 – Графики зависимости производительности конвейера с подвесной лентой, движущегося со скоростью 0,5 м/с, от напряжений (а) и от прогибов (б), возникающих в металлоконструкции линейной секции различной длины L при соответствующей ширине B ленты*
*Figure 5 – Dependence diagrams of the conveyor hanging belt's productivity moving at 0.5 m / s speed, from the stresses (a) and from the deflections (b),which appear in the linear steel section with different length L and at the corresponding width of the B tape*

Проанализировав графики (см. рисунок 5) можно заключить следующее:

1. С увеличением длины линейной секции существенно возрастают нормальные напряжения и прогибы. Это объясняется увеличением расстояния между точками крепления направляющих и ростом динамических нагрузок со стороны ленты с грузом [5, 20, 21].

2. Напряжения, возникающие в металлоконструкциях линейных секциях для исследуемых длин ( 1 м, 1,5 м, 2 м) при ширине лент B = =0,8 м и B = 1 м, различаются незначительно.

3. Для максимальной расчетной производительности 367 т/ч принятый на начальном этапе квадратный профиль 20×20 мм МК не обеспечивает выполнения прочностных и жесткостных ограничений для следующих длин линейных секций с соответствующей шириной ленты: L=1 м, B=1,2 м; L=1,5 м, B=0,65 м; L=1,5 м, B=0,8 м; L=1,5 м, B=1 м; L=1,5 м, B=1,2 м; L=2 м, B=0,65 м; L=2 м, B=0,8 м; L=2 м, B=1 м; L=2 м, B=1,2 м.

4. Максимальные значения прогибов МК линейной секции возникают в трубчатых направляющих, которые в дальнейшем исследовании не будут подвергаться оптимальному проектированию.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимальное проектирование МК линейной секции осуществлялось в программном комплексе Siemens NX для наименьшей (Q=18 т/ч) и наибольшей (Q=367 т/ч) производительности конвейера при установленной скорости движения 0,5 м/с. Определен оптимальный профиль поперечного сечения МК линейной секции, и выявлена ее масса (таблица). Исследования проводились для трех длин линейной секции (1 м, 1,5 м, 2 м) с четырьмя типоразмерами ширины ленты (0,65 м, 0,8 м, 1 м, 1,2 м). С целью унификации металлоконструкции конвейера был принят профиль поперечного сечения одинакового типоразмера для всех стержней и раскосов линейной секции.

Таблица

ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ, ТИПОРАЗМЕРЫ ПРОФИЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И МАССА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ЛИНЕЙНОЙ СЕКЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

Table

VOLTAGE VALUES, CROSS-SECTIONAL PROFILE SIZES AND MASS OF THE LINEAR STEEL SECTION, OBTAINED IN THE OPTIMAL DESIGN PROCESS FOR VARIOUS CONSTRUCTIVE VARIANTS OF THE CONVEYOR HANGING BELT

| № п/п | Производительность КПЛ, т/ч | Длина МК линейной секции, мм | Ширина ленты, мм | Напряжения в МК, МПа | Момент сопротивления оптимального сечения, см3 | Размеры профиля поперечного сечения (прям. труба) | Масса МК линейной секции, кг |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 18 | 1 000 | 650 | 96,57 | 0,093 | 15×10×1 | 38,5 |
| 2 | | 1 500 | | 197,24 | 0,208 | 15×10×1 | 63,5 |
| 3 | | 2 000 | | 186,63 | 0,263 | 15×10×1,5 | 87,5 |
| 4 | 367 | 1 000 | | 185,15 | 1,095 | 30×15×2 | 46,2 |
| 5 | | 1 500 | | 196,76 | 1,668 | 30×20×2,5 | 95,6 |
| 6 | | 2 000 | | 201,66 | 2,434 | 40×20×2 | 120,5 |
| 7 | 18 | 1 000 | 800 | 129,71 | 0,124 | 15×10×1 | 43,6 |
| 8 | | 1 500 | | 176,29 | 0,202 | 15×10×1,5 | 67,7 |
| 9 | | 2 000 | | 173,63 | 0,273 | 20×10×1,5 | 91,5 |
| 10 | 367 | 1 000 | | 184,66 | 1,276 | 30×20×1,5 | 58 |
| 11 | | 1 500 | | 191,22 | 1,984 | 40×20×2 | 97,8 |
| 12 | | 2 000 | | 190,30 | 2,655 | 35×25×3,5 | 155,5 |
| 13 | 18 | 1 000 | 1000 | 165,19 | 0,143 | 15×10×1 | 45,1 |
| 14 | | 1 500 | | 178,85 | 0,212 | 15×10×1 | 68,9 |
| 15 | | 2 000 | | 204,64 | 0,276 | 20×10×1 | 87,0 |
| 16 | 367 | 1 000 | | 170,51 | 1,333 | 35×20×2 | 73,9 |
| 17 | | 1 500 | | 195,31 | 1,94 | 35×20×2,5 | 107,6 |
| 18 | | 2 000 | | 189,16 | 2,604 | 40×20×3 | 150,8 |
| 19 | 18 | 1 000 | 1200 | 155,21 | 0,152 | 15×10×1 | 46,9 |
| 20 | | 1 500 | | 179,29 | 0,268 | 15×10×1,5 | 71,6 |
| 21 | | 2 000 | | 184,76 | 0,315 | 20×10×1,5 | 95,9 |
| 22 | 367 | 1 000 | | 202,73 | 1,465 | 30×20×2 | 77,3 |
| 23 | | 1 500 | | 188,67 | 1,919 | 35×25×2,5 | 123,1 |
| 24 | | 2 000 | | 185,45 | 3,103 | 45×30×2,5 | 169,6 |

В таблице представлен момент сопротивления сечения, полученный по результату оптимального проектирования МК, по данным которого принимается оптимальный профиль линейной секции конвейера. Также представлена масса одной линейной секции.

Влияние массы МК одной линейной секции КПЛ в зависимости от установленного шага (продольного расстояния) вертикальных стоек 3 (см. рисунок 2) представлено на рисунке 6. Как видно, с увеличением шага вертикальных стоек происходит рост массы линейной секции, а также напряжений, возникающих в МК от внешних нагрузок.

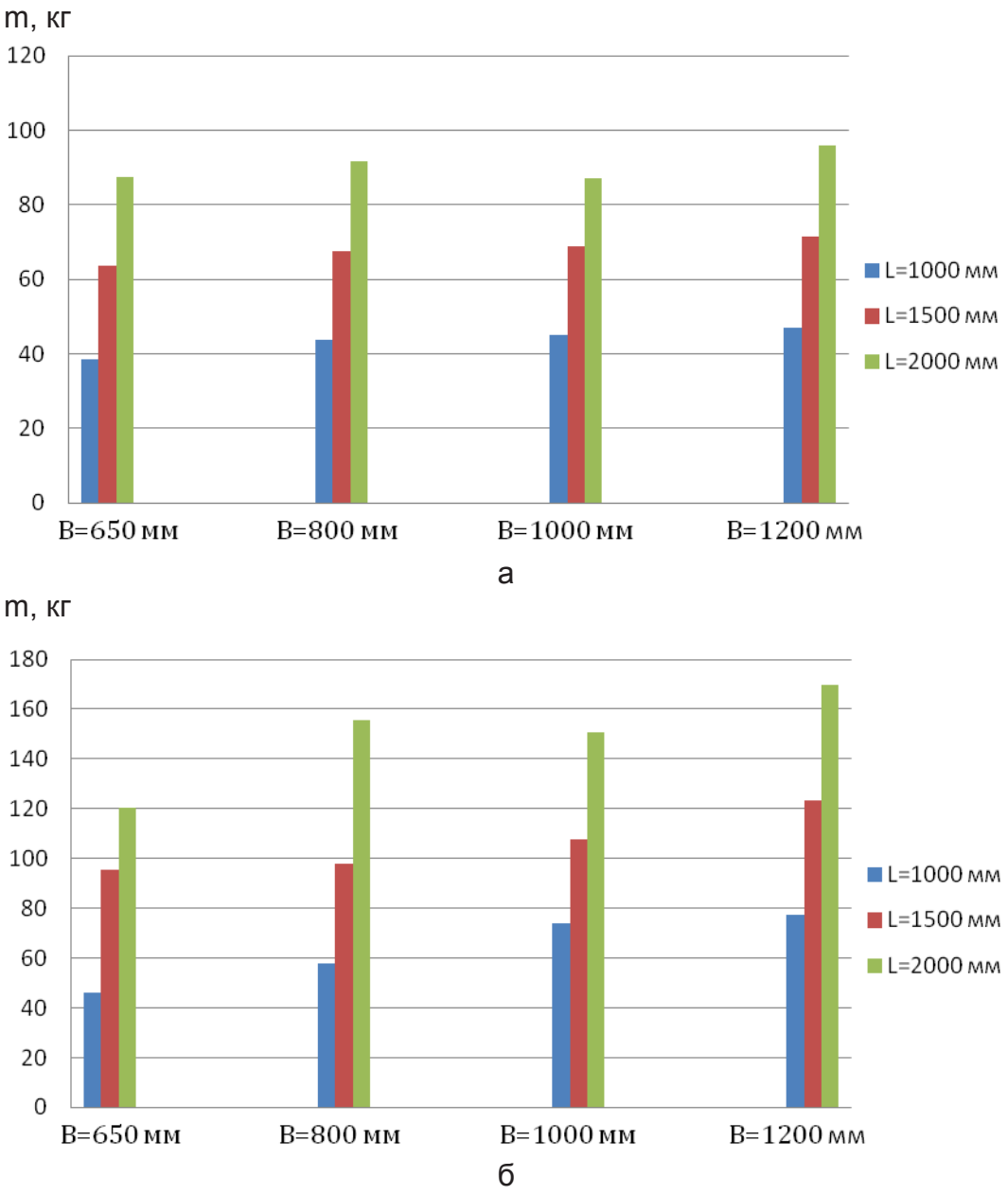



*Рисунок 6 – Диаграмма зависимости массы от длины линейной секции при различной ширине ленты B для производительности конвейера: а – Q=18 т/ч; б – Q=367 т/ч*
*Figure 6 – Dependence diagram of the mass on the linear section length for different widths of the B tape for the productivity of the conveyor: a – Q = 18 t / h; b – Q = 367 t / h*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана математическая модель металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной лентой, состоящая из целевой функции и систем ограничений.

2. Получены значения напряжений и прогибов, возникающих в металлоконструкции линейной секции, в зависимости от разной производительности конвейера.

3. Выявлены типоразмеры профилей поперечных сечений и массы металлоконструкции линейной секции для минимального и максимального значения производительности конвейера.

4. Приведены рекомендации по выбору массогабаритных размеров металлоконструкции линейной части конвейера с целью снижения ее массы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. Москва: Машиностроение, 1980. 303 с.

2. Пертен Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века // Транспорт российской федерации. 2005. № 1. С. 42-43.

3. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины. Москва: Машиностроение, 1983. 487 с.

4. Лагерев А.В., Толкачев Е.Н., Бословяк П.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузоне-сущей лентой. Брянск: РИО БГУ, 2016. 303 с.

5. Ивченко В.Н., Давыдов С.В., Куров В.В. Опыт эксплуатации конвейеров с подвесной лентой // Горный журнал. 2003. №3. С. 66-70.

6. Ивченко В.Н., Куров С.В. Юбилей российского беспросыпного ленточного конвейера с подвесной лентой // Горная промышленность. 2007. № 4 (74). С. 76-77.

7. Конвейеры с подвесной лентой / В.И. Аверченков, В.Н. Ивченко, В.П. Дунаев [и др.] / под общ. ред. проф. В.И. Аверченкова. М.: Машиностроение-1, 2004. 256 с.

8. Вершинский А.В., Лагерев И.А., Шубин А.Н., Лагерев А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-транспортных машин. Брянск: РИО БГУ, 2014. 186 с.

9. Бословяк П.В., Зуева Е.П. Универсальная методика оптимального проектирования основных конструктивных узлов металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой. Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2015. №1. С. 32-42. URL: http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-07.pdf.

10. Лагерев А.В., Дунаев В.П. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 10. С. 9-14.

11. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive // International Review on Modelling and Simulations. 2016. Vol. 9, N. 4. P. 271–279.

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

13. Кулешов Д.Ю. Подвесной пространственный горизонтально замкнутый ленточный конвейер // Достижения молодых ученых Брянской области: Материалы Региональной научной конференции студентов и аспирантов / под. ред. И.А. Лагерева. Брянск: БГТУ, 2010. С. 29-31.

14. Конвейеры: справочник / Р.А. Волков, А.Н. Гнутов, В.К. Дьячков [и др.] / под общ. ред. Ю.А. Пертена. Л.: Машиностроение, 1984. 367 с.

15. Бословяк П.В., Толкачев Е.Н. Математическая модель оптимизации приводной подвески конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Научный рецензируемый журнал Вестник СибАДИ, 2018. №1. С. 8-18. DOI: http://dx.doi.org/10.26518/2071-7296-2018-1-8-18

16. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 592 с.

17. Сакало В.И. Сопротивление материалов. Брянск, БГТУ, 2009. 528 с.

18. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Москва, 2011. 173 с.

19. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Москва, 2011. 85 с.

20. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: учеб. пособие для вузов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 230 с.

21. Лагерев А.В., Кулешов Д.Ю. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом // Вестник Брянского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 50-56.

# MATHEMATICAL MODEL OF THE METAL-CONSTRUCTION LINEAR CONVEYOR MASS WITH SUSPENDED GEARBOXING TAPE

***P.V. Boslovyak, M.M. Jileykin, A.A. Ponitaev***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The article is devoted to the topical issue, which is related to the optimization of the linear part of the conveyor with a hanging load-carrying belt. In the work briefly reflect the main scientific and design developments of this conveyor type. Particular attention is paid to the use of techniques to reduce the weight of the metal structure of the conveyor linear part with hanging belt.*

***Methods and materials.*** *The authors have developed and in detail presented mathematical model of the metal structure of the conveyor linear part with a hanging load-carrying belt, consisting of the target function and the systems of limitations, which realizes modern approaches at the metal structure design, thereby reducing the weight of the conveyor as a whole.*

***Results.*** *According to the results of the research, the values of stresses and deflections arising in a metal construction of linear section of various design depend on the different productivity of the conveyor with hanging belt. The procedure of optimum design of the metal linear structure with various standard size of the conveyor with hanging belt performed for the minimum and maximum value of productivity is carried out. The authors present the results of optimal cross-sections rods and diagonal rods of the conveyor metal structures.*

***The discussion and conclusion.*** *It is established that the application of modern approaches, in particular optimization, to design of the conveyor metal construction allows to improve conveyor mass-dimensional indicators.*

**KEYWORDS:** *metal structure, conveyor with hanging belt, linear section, optimal design, target function.*

## REFERENCES

1. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Machines of continuous transport]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1980. 303 p.

2. Perten Yu. A. *Konveyernyy transport XXI veka* [The conveyor transport of the XXI century]. Transport rossijskoj federacii, 2005, no. 1, pp. 42–43.

3. Spivakovskiy A.O. *Transportiruyushchiye mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1983. 487 p.

4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the conveyor with the suspended belt]. Bryansk, RIO BGU. 2016. 303 p.

5. Ivchenko V.N., Davydov S.V. Kurov S.V. Opyt ekspluatatsii konveyyerov s podvesnoy lentoy [Experience in the operation of conveyors with hanging belt]. *Gornyy zhurnal*, 2003, no. 3, pp. 66-70.

6. Ivchenko V.N., Kurov S.V. YUbiley rossiyskogo besprosypnogo lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy [Anniversary of the Russian belt conveyors with suspended belt without material scattering]. *Gornaya promyshlennost'*, 2007, no. 4 (74), pp. 76-77.

7. 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.

8. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskikh konstructsiy pod'yemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.

9. Boslovyak P.V., Zueva E.P. Universalnaya metodika optimalnogo proektirovaniya osnovnykh konstruktivnykh uzlov metallkonstruktsiy konveyerov s podvesnoy lentoy [Universal method for optimal design main structural assemblies of steel structures stationary conveyor with hanging ribbon]. *Nauchno-tekhnicheskiy Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no.1, pp. 32-42. URL: http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-07.pdf

10. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Konveyery s podvesnoy gruzonesushchey lentoy – innovatsionnyy vid mashin nepreryvnogo transporta [Conveyors with suspersions carrying belt - new type of continuous transport mashines]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*, 2009, no.10, pp. 9-14.

11. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *International Review on Modelling and Simulations*, 2016, Vol. 9. no. 4, pp. 271–279.

12. Goncharov K.A., Boslovyak P.V., Kuleshov D.Yu. *Eksperimental'nyy stend dlya issledovaniya dvizheniya diskretnogo uchastka lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom* [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.

13. Kuleshov D.Yu. Podvesnoy prostranstvennyy gorizontal'no zamknutyy lentochnyy konveyer [Suspended spatial horizontally closed belt conveyor]. *Dostizheniya molodyh uchenyh Bryanskoy oblasti: Materialy Regional'noy nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov*. Bryansk, BGTU, 2010. pp. 29-31.

14. Perten YU.A., Zenkov R.L., Gnutov A.N., D'yachkov V.K., Volkov R.A. *Konveyery: spravochnik* [Conveyors: Handbook]. Leningrad, Mashinostroenie, 1984. 367 p.

15. Boslovyak P. V., Tolkachev E.N. Matematicheskaya model' optimizatsii privodnoy podveski konveyyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom [Mathematical model of optimization metal construction of the drive suspension carrier section conveyor with suspended belt and distributed drive]. *Vestnik SibADI*, 2018, no. 1, pp. 8-18. DOI: http://dx.doi.org/10.26518/2071-7296-2018-1-8-18

16. Feodos'yev V.I. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 1999. 592 p.

17. Sakalo V.I. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Bryansk, BGTU, 2009. 528 p.

18. SP 16.13330.2011. *Stal'nye konstruktsii* [Steel structures]. Moscow, 2011. 173 p.

19. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeiystviya* [Loads and impacts]. Moscow, 2011. 85 p.

20. Lobov N. A. *Dinamika peredvizheniya kranov po rel'sovomu puti* [Dynamics of the movement of cranes along the track]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2003. 230 p.

21. Lagerev A.V., Kuleshov D.YU. Dinamicheskiye protsessy pri perekhodnykh rezhimakh raboty diskretnogo uchastka konveyyera s raspredelennym privodom [Dynamic processes in transient modes of operation of a discrete section of a conveyor with a distributed drive]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 2, pp. 50-56.

***Поступила 23.03.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бословяк Павел Валерьевич (Москва) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: boslovyak@bmstu.ru).*

*Boslovyak Pavel Valeryevich (Moscow) – PhD. of Technical Sciences, Associate professor of the Department «Hoisting and transport systems». Moscow State Technical University named after Bauman (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: boslovyak@bmstu.ru).*

*Жилейкин Михаил Михайлович (Москва) – доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: jileykin_m@mail.ru).*

*Jileykin Mikhail Mikhailovich (Moscow) – Dr. of Technical Sciences, Professor of the Department «Wheeled vehicles». Moscow State Technical University named after Bauman (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: jileykin_m@mail.ru).*

*Понитаев Александр Анатольевич (Москва) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъем-*

*но-транспортные системы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: a.ponitaev@yandex.ru).*

*Ponitaev Alexander Anatolyevich (Moscow) – PhD. of Technical Sciences, Associate professor of the Department «Hoisting and transport systems». Moscow State Technical University named after Bauman (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: a.ponitaev@yandex.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Бословяк П.В. Разработка математической модели металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной лентой. Составление расчетной схемы металлоконструкции линейной секции стационарного конвейера с подвесной грузонесущей лентой. Разработка расчетов внешних нагрузок, действующие на металлоконструкцию линейной станции со стороны подвески, ленты и груза. Получение значений напряжений, типоразмеров профиля поперечного сечения и массы металлоконструкции линейной секции для различных конструктивных вариантов конвейера с подвесной лентой в процессе оптимального проектирования. Написание разделов «методы и материалы», «результаты», «обсуждение», «заключение».*

*Жилейкин М.М. Выполнение в программном комплексе Siemens NX расчетов напряжений и прогибов, возникающих в металлоконструкции линейной секции конвейера с подвесной лентой. Участие в обсуждении полученных результатов. Написание раздела «введение», «заключение», общая редакция статьи.*

*Понитаев А.А. Анализ состояния вопроса, связанного с проектированием металлоконструкции линейной части конвейера с подвесной грузонесущей лентой. Участие в обсуждении полученных результатов. Написание раздела «введение», «заключение».*

УДК 624.1

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

***А.С. Кадыров, Б.К. Курмашева, И.В. Георгиади***
*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Статья посвящена разработке экономико-математической модели технологического процесса строительства фундаментов способом «стена в грунте», показатели которой связаны с параметрами машин, грунтовыми условиями и условиями строительства.*
***Материалы и методы.*** *В качестве критерия оптимальности выбрана удельная энергоемкость процесса, которая входит в показатели модели. Были установлены зависимости, определяющие соотношения экономических показателей процесса проходки скважин (стоимость машины, заработная плата рабочих, нормативные стоимостные показатели) и основных параметров машин, а именно мощности и скорости.*
***Результаты.*** *В результате экспериментов на полноразмерном стенде и опытном образце машины подтверждены теоретические зависимости, выявлены минимум удельной энергоемкости и приведенных затрат в зависимости от скорости проходки и затрачиваемой мощности.*
***Заключение.*** *Разработанная методика может быть применена для оптимизации параметров и других строительных и дорожных машин, то есть не ограничивается целью настоящих исследований. Методика основана на определении оптимальных значений скорости проходки и затрачиваемой мощности, соответствующих минимальным приведенным затратам.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *экономико-математическое моделирование, фундамент «стена в грунте», рабочий орган землеройной машины, приведенные затраты, удельная энергоемкость.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современное строительство в условиях городской застройки характеризуется стесненными условиями, при которых строительство подземной части сооружений необходимо производить рядом со стоящими зданиями, наличием грунтовых вод и агрессивной грунтовой среды. В этих условиях экономически эффективным и зачастую единственно возможным решением является устройство подземных сооружений способом «стена в грунте» или строительство щелевых фундаментов.

Технология «стена в грунте» доступна в двух вариантах выполнения: буросекущая и разработка траншеи. По первому варианту выполняются буровые сваи на расстоянии, меньше их диаметра, и таким образом они входят в зацепление, «секут» друг друга, в итоге формируя цельное ограждение достаточной прочности. Метод буросекущих свай предоставляет возможность выполнить ограждение строительной площадки, подпорную стену, водопонижение или противофильтрационную завесу [1, 2].

Во втором случае технологический процесс строительства состоит из следующих операций: отрывки пионерной траншеи, устройства форшахты, заполнения пионерной траншеи глинистым раствором, разработкой траншеи до проектной отметки с одновременным заполнением глинистым раствором, установки межсекционных разграничителей для выделения захваток бетонирования, зачистки дна траншеи от хлама, установки арматурных каркасов с последующим закреплением их на форшахте, укладки бетонной смеси [3, 4].

Основным звеном любого из описанных технологических процессов является разработка в грунте траншей, скважин или выемок другой конфигурации. Ведущей машиной технологического процесса строительства такого фундамента является землеройная машина.

Функция землеройной машины определяется рабочим органом, в связи с этим, чтобы изменить или создать новую технологию строительства фундаментов, необходимо применять тот или иной рабочий орган, существующий или гипотетический. При разра-

ботке новых конструкций нужно сравнивать конструкцию с конструкцией, между тем при таком сравнении возможны ошибки, поскольку часть вариантов будет характеризоваться тем, что параметры ведущей машины не будут совпадать с параметрами машин, используемых в других операциях. Поэтому необходимо сравнивать технологический процесс с технологическим процессом, и исходя из этого определять показатели назначения новой или существующей машины.

Определение параметров оптимальных конструкций и режима работы рабочих органов должно производиться с учетом влияния на них характеристик технологического процесса [5, 6 7, 8, 9, 10, 11]. Это влияние может учитываться следующим образом: входные и выходные параметры инженерной методики расчета рабочих органов оптимальны для технологического процесса в целом, а ведущая машина с рассчитанным рабочим органом работает в оптимальном нормокомплекте оборудования.

В связи с этим выделим две задачи: определение оптимальных входных данных в инженерную методику и определение оптимального нормокомплекта оборудования и технологической схемы устройства фундаментов способом «стена в грунте». Обе эти задачи сводятся к выбору и определению экстремального значения критерия оптимальности [12, 13].

Критерий оптимальности указывает на эффективный способ достижения поставленной цели. Для упрощения решения таких задач целесообразно принимать один критерий оптимальности, который обобщает все по возможности свойства рассматриваемой системы. В некоторых случаях система оценивается по нескольким критериям. Решение многокритериальных задач возможно следующими методами: выделяется главный критерий, а остальные рассматриваются как ограничения; всем критериям придаются весомости и осуществляется свертывание их в один синтетический критерий; несколько критериев применяются параллельно или последовательно [14].

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Цель, критерий, ограничения (условия) экономико-математической модели (ЭММ) могут быть выражены в виде математической функции. Специфика исследуемой системы требует проведения углубленного технико-экономического анализа для обоснования конкретного вида критерия оптимальности.

Анализируя возможность применения того или иного критерия оптимальности, направленного на интенсификацию строительства фундаментов путем предпроектного проектирования машин, разработки технического задания и карты уровня качества можно прийти к выводу, что поставленная цель достигается в несколько этапов и на каждом этапе необходимо применять различные критерии, одним из этапов является выбор оптимального варианта конструкции и режима работы рабочего органа землеройного оборудования. Математическое моделирование позволяет определить оптимальные параметры режима по критерию «удельная энергоемкость процесса разработки грунта». Однако этот показатель не может в общем случае характеризовать оптимальный технологический процесс и соответствующий ему оптимальный механизм [14, 15, 16, 17].

Произведем анализ параметров, рассматриваемых в качестве критериев оптимальности более высокого ранга, чем удельная энергоемкость [18, 19, 20, 21]. Ранг этих критериев определяется в частности тем, что удельная энергоемкость входит в них как составляющая.

Этим требованиям отвечает критерий «приведенные затраты на объем механизированных работ»:

$$П_{зо} = C_0 + E_н \cdot K, \qquad (1)$$

где $C_0$ – себестоимость работ при рассматриваемом варианте машин, руб;

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности, равный 0,15;

$K$ – капитальные вложения, затраченные на создание одной машины, руб. [22].

Используя этот критерий можно определить оптимальные значения производительности разработки грунта и реализуемой при этом мощности привода.

Первым этапом моделирования является выбор оптимальной технологии. Эта задача является комплексной, так как охватывает вопросы технологии, организации и механизации строительного процесса, и оценка по одному из критериев будет необъективной. Кроме того, в различных условиях строительства предпочтение отдается тому или иному критерию оптимальности, позволяющий всесторонне оценивать каждый из сравниваемых вариантов.

В качестве такого комплекса критериев предлагается следующее: доход, приведен-

ные затраты на объем механизированных работ, трудоемкость и срок строительства:

$$\begin{cases} Д \to \max \\ T_з \to \min \\ T_с \to \min \\ П_{зо} \to \min \end{cases}, \quad (2)$$

где Д – доходы предприятия;

$Т_з$ – трудозатраты;

$Т_с$ – срок строительства;

$П_{зо}$ – приведенные затраты.

Применение именно этих показателей в качестве критериев оптимальности обусловлено следующими причинами:

– доход показывает, насколько тот или иной вариант технологии устройства фундаментов выгоден для отрасли строительства и для строительных предприятий, применяющих эту технологию;

– критерий «минимальная трудоемкость» применяется в тех случаях, когда трудовые ресурсы ограничены и этот критерий является наиболее предпочтительным;

– критерий «минимальная продолжительность строительства» применяется в случаях, когда строительство необходимо закончить в минимальные сроки;

– приведенные затраты учитывают наряду с себестоимостью эффективность использования машин, участвующих в технологическом процессе, устанавливают взаимосвязь между основными показателями машин и позволяют выбрать оптимальный вариант с учетом этих показателей.

Эффективность применения того или иного варианта определяется при сравнении вариантов по принятым в данной работе критериям оптимальности.

В зависимости от условий строительства и требований заказчика выбирается основной критерий, определяются варианты, соответствующие минимуму данного критерия. Затем из этого множества выделяется подмножество, соответствующее минимуму второго критерия, из этого подмножества – экстремальное значение третьего критерия. Из полученного подмножества выбирается вариант, соответствующий максимальному доходу.

Экономические показатели, указанные выше, связаны с производительностью машины и энергоемкостью их работы. Эти показатели в свою очередь являются функцией режима и конструкции рабочего оборудования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Экономико-математическая модель (далее ЭММ) представляет собой целевую функцию (или несколько целевых функций) с накладываемыми на нее ограничениями, сужающими область возможных решений. Часть граничных условий принимается на стадии формирования исходных данных, которые производятся на основании инженерно-геологических изысканий, условий строительства, расчетов, выполненных проектировщиками при определении несущей способности конструкций, отчетов и пояснительных записок.

Задача решается в два этапа и на каждом этапе представляется отдельная ЭММ.

На первом этапе ЭММ исследована функция приведенных затрат на объем механизированных работ при выполнении операции разработки грунта:

1 этап:

$$П_{зо} = C_0 + E_н \cdot K \to \min; \quad (3)$$

2 этап:

$$\begin{cases} \begin{cases} П_{з.о.} = \sum_{i=1}^{4} C_i + E_н \sum_{i=1}^{4} K_i n \to \min; \\ T = \sum_{i=1}^{4} \frac{Q_i}{n П_{чi}} \to \min; \\ T_р = \sum_{i=1}^{4} \frac{Q_i}{П_{чi}} (Б + В) \to \min; \end{cases} \\ \begin{cases} Э_0 = 0{,}05 k_н \cdot C \left(1 - \frac{T_{ср}}{T_э}\right) + 0{,}6\left(T_{рэ} - T_{рср}\right) + 0{,}15\left(З_э - З_{ср}\right) + \\ \left(C_{оз} + E_н \cdot K_э n\right) - \left(C_{0ср} + E_н \cdot K_{ср} n\right) \to \max, \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

где п – количество технологических потоков;

$С_i$ – себестоимость выполнения работ по *i*–операции технологического процесса;

$Q_i$ – объем механизированных работ;

$П_{чі}$ – производительность і-й машины;

Б – число рабочих, занятых управлением машины;

В – число рабочих, занятых в технологическом процессе, за исключением членов экипажа;

$Э_0$ – экономический эффект;

$k_н$ – норма накладных расходов;

$Т_{ср}$, $Т_э$–трудоемкость работ по сравниваемому и эталонному вариантам;

$З_э$, $З_{ср}$ – заработная плата рабочих по эталонному и сравниваемому вариантам;

$С_{оэ}$, $С_{оср}$–себестоимость по эталонному и сравниваемому вариантам.

ЭММ должно дополняться сводом условий существования землеройных машин.

Исследование экономико-математической модели системы «рабочий орган землеройной машины – технологический процесс» включает в себя математическую постановку задачи, разработку блок-схемы расчета и анализ результатов расчета. Реализация любой ЭММ предполагает определение среди множества рассматриваемых вариантов одного наиболее выгодного в конкретных условиях строительства. Выбор того или иного показателя на втором этапе моделирования полностью зависит от цели оптимизации.

В начале ЭММ определяются оптимальные с позиции технологического процесса показатели назначения ведущих машин, затем производится расчет параметров конструкций и режима работы рабочего органа, устанавливается оптимальный вариант по конструкции машины для заданных условий строительства, подбирается комплект вспомогательного оборудования и сравниваются нормокомплекты оборудования по критериям, затем подсчитывается экономический эффект.

В результате вычислений для оптимального рабочего органа землеройной машины может быть установлена оптимальная технологическая схема устройства фундаментов при заданных условиях строительства. В связи с этим основной задачей является установление показателей назначения оптимального рабочего органа землеройной машины.

Выбор приведенных затрат в качестве критерия оптимальности обусловлен тем, что, во-первых, разность приведенных затрат составляет экономический эффект; во-вторых, сравнительно легко определяются математические зависимости между факторами, которые рассматриваются в исследовании, и приведенными затратами. В то же время приведенные затраты по своей структуре являются сложным показателем и зависят от ряда факторов, каждый из которых может быть принят в качестве критерия на том или ином этапе исследования.

Рассмотрев зависимость приведенных затрат, мы представили ее в виде выражения (5), в котором коэффициент а характеризует условно-постоянную часть приведенных затрат на объем работ. Величина *b/V*, где *V* – скорость проходки траншей, определяет изменение приведенных затрат в зависимости от стоимостного выражения скорости проходки, а величина c*N/V* определяет влияние приведенных затрат от удельной энергоемкости. Величины а, *b* и с учитывают все экономические показатели, определяющие стоимость работ [4].

В результате математических преобразований функция приведенных затрат была представлена в виде

$$П_{з.о.} = a + \frac{b}{V} + \frac{cN}{V}, \qquad (5)$$

где а – параметр, характеризующий условно-постоянную часть приведенных затрат на объем работ;

*b* – величина, определяющая изменение приведенных затрат в зависимости от стоимостного выражения скорости проходки;

с – параметр, характеризующий влияние удельной энергоемкости на приведенные затраты.

Значения параметров а, *b* и с определяются по следующим формулам:

$$a = \left(\left[S + \left(L_т - L_н\right)S_{оз}\right]K_{нз} + \left[П_о + \left(L_т - L_н\right)П_д\right]K_{нп}\right)n^2 + \\ + \frac{K\left(A_{пв} + A_{кр}\right)nK_{нп}}{100T_ф} + E_н K_п; \qquad (6)$$

$$b = \frac{1}{L_з S_{тр} K_{рз}} \left( \frac{K_{нп} Q K \left( A_{пв} + A_{кр} \right) n}{100} \cdot \frac{\dfrac{1}{t_{см} K_{см}} + Д_р}{T_ф} + \right.$$

$$\left. + Q \left( \left( K_{нз} + K_{нп} K_{зр} \right) \frac{\lambda_р C_р \sum_{j=1}^{k} a_j m_j K_{дв} K_{дм}}{T_ф} + K_{нз} \left( \lambda K_р \sum_{\mu=1}^{6} C_{T\mu} + \lambda_1 \sum_{\mu=1}^{6} C_{Tj} \right) \right) \right); \quad (7)$$

$$c = \frac{Q}{L_з S_{тр} K_{рз}} \left( (1+\varepsilon) K_{нп} \sum Ц_{тк} 1{,}03 \cdot 10^{-3} \times \right.$$

$$\left. \times q_{ен} K_N K_{дв} K_{дм} + \left( Ц_{эл} + V \right) K_{нп} 0{,}1 K_с \right), \quad (8)$$

где $S$ – затраты на заработную плату при нормативном расстоянии перевозки, тг;

$L_т$ – расстояние перевозки, км;

$L_н$ – нормативное расстояние перевозки, км;

$S_{дз}$ – дополнительные затраты на заработную плату на каждый последующий километр сверх нормативного, тг/м;

$К_{нз}$ – коэффициент накладных расходов на затраты на заработную плату;

$П_о$ – норматив затрат на перевозку при нормативном расстоянии перевозки, тг;

$П_д$ – норматив дополнительных затрат на каждый последующий километр, тг/км;

$К_{нп}$ – коэффициент накладных расходов на затраты по эксплуатации машин;

п – количество потоков;

$А_{пв}$ – норматив амортизационных отчислений на полное восстановление, %;

$А_{кр}$ – норматив амортизационных отчислений на капитальный ремонт, %;

$V$ – скорость подачи РО, м/с;

$L_з$ – длина захватки траншеи, м;

$S_{тр}$ – ширина траншеи, м;

$К_{рз}$ – коэффициент разрыхления;

$t_{см}$ – средняя продолжительность смены, маш-ч;

$К_{см}$ – коэффициент сменности работы техники;

$Д_р$ – простои во всех видах технического обслуживания и ремонта (ТР, КР), дн-маш-ч;

$Т_ф$ – годовой фонд рабочего времени техники, дн;

$К_{зр}$ – коэффициент перехода от заработной платы к затратам на ТО и ТР;

$\lambda_р$ – коэффициент, учитывающий премии ремонтным рабочим;

$С_р$ – средняя тарифная ставка работы по ремонту машин, тг;

$a_j$ – количество j-го вида ТО и ТР;

$m_j$ – трудоемкость j-го вида ТО и ТР;

$К_{дв}$ – коэффициент использования двигателя по времени;

$К_{дм}$ – коэффициент использования двигателя по мощности;

λ – коэффициент, учитывающий премии рабочим;

$К_р$ – поправочный коэффициент к тарифной ставке;

$С_{Тμ}$ – годовая тарифная ставка рабочего μ-го разряда;

$N_{ен}$ – номинальная мощность двигателя;

$k$ – количество видов ТО и ТР;

ε – коэффициент перехода от затрат на топливо к затратам на смазочные и обтирочные материалы;

$Ц_{тк}$ – цена k-го вида топлива, тг/т;

$q_{ен}$ – удельный расход топлива при нормальной мощности;

$К_н$ – коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности;

$N_{эл}$ – мощность электродвигателя;

$Ц_{эл}$ – тариф на 10 кВтч расходуемой электроэнергии;

$К_с$ – коэффициент спроса электродвигателя;

$S$ – стоимость смазочных и вспомогательных материалов на 10 кВт расходуемой электроэнергии;

$\lambda_1$ – коэффициент перехода от тарифного фонда к общему фонду заработной платы, учитывающий дополнительную заработную плату и начисления в фонд социального страхования.

На этапе оптимизации гипотетических (или проектируемых) рабочих органов, для которых затруднительно определить капиталовложения в базовую машину, критерий «приведенные затраты» снижается до части себестоимости, не зависящей от капиталовложений.

Определение этих параметров трудоемкая задача, поэтому в приложении Microsoft Excel составлена таблица исходных данных для определения величин с учетом всех затрат на выполнение работ. Определены зависимости и рассчитаны величины a, *b* и c для конкретных машин.

На первом этапе исследования ЭММ были установлены зависимости, позволяющие определить оптимальные параметры ведущей операции процесса устройства набивных свай – проходки скважин. Зависимости характеризуют соотношения экономических показателей процесса проходки скважин (стоимость базовой машины и навесного оборудования, заработная плата рабочих, нормативные стоимостные показатели) и основных параметров машин *N* и *V.*

Экономические показатели, указанные выше, связаны с производительностью машины и энергоемкостью их работы. Эти показатели в свою очередь являются функцией режима и конструкции рабочего оборудования.

Были проведены экспериментальные исследования, которые доказали существования минимума приведенных затрат как функции двух переменных затрачиваемой мощности и скорости проходки.

Экспериментальное исследование проводилось на полноразмерном стенде СПУ-1 (рисунок 1).

Так как условно-постоянная часть приведенных затрат на одной и той же машине или стенде неизменна, то эксперимент сводился к определению минимальной энергоемкости разработки скважины.

Эксперимент проводился для рабочих органов, имеющих не менее двух элементарных траекторий движения, поскольку при одной траектории зависимость приведенных затрат от мощности и скорости проходки линейная.

Рабочими органами стенда СПУ-1 производилось бурение и фрезерование грунта в специально открытых приямках, в которых путем засыпки уплотненного и увлажненного грунта создавались грунтовые условия, соответствующие плотным увлажненным пескам, суглинкам без включений в состоянии среднего увлажнения и глине средней крепости разрыхленной. При проведении экспериментальных исследований на стенде СПУ-1 фиксировались показатели усилия подачи, крутящего момента, толщины срезаемой стружки и время, за которое осуществляется один оборот.

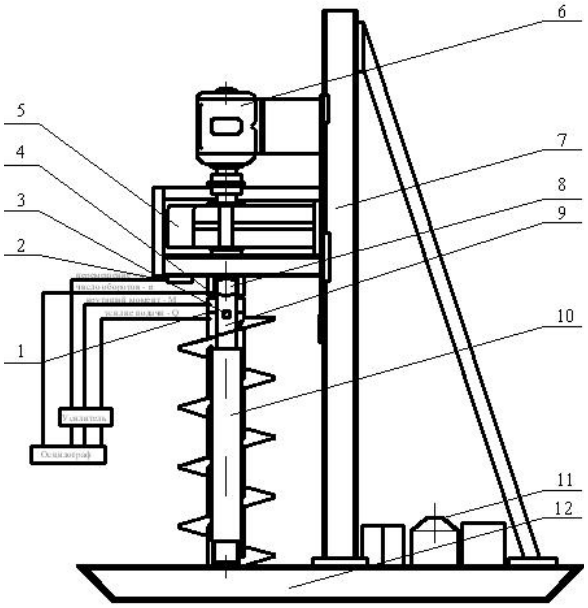



*Рисунок 1 – Схема стенда СПУ-1*
*1 – тензодатчики, 2 – тросик датчика перемещения, 3, 9 – гидроцилиндры, 4 – постоянный магнит, 5 – редуктор, 6 – каретка с гидродвигателем, 7 – колонна, 8 – шарнирная муфта, 10 – испытываемые рабочие органы, 11 – маслостанция (СПУ-5), 12 – платформа*
*Figure 1 – Scheme of the SPU-1:*
*1 – strain gauges, 2 – rope of the displacement sensor, 3, 9 – hydraulic cylinders, 4 – permanent magnet, 5 – reducer, 6 – carriage with hydraulic motor, 7 – column, 8 – articulated coupling, 10 – tested working bodies, 11 – oil station (SPU-5), 12 – platform*

Аналогично исследованиям на стенде СПУ-1 проводились эксперименты на установке БУК-600. Отличие состояло в том, что крутящий момент определялся по мощности, записываемый самопишущим ваттметром. Усилие подачи определялось электродинамометром, фиксация одного оборота постоянным магнитом-герконом.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований позволили выявить минимум удельной энергоемкости в зависимости от скорости проходки и затрачиваемой мощности при бурении и фрезеровании (10):

$$E = (QV + M\omega) / П \text{ ,кВт·ч/м,} \qquad (9)$$

где Q – усилие подачи, Н;

*V* – скорость проходки, м/с;
M – крутящий момент, Н·м;
ω – угловая скорость, $с^{-1}$.
На рисунке 2 представлена зависимость удельной энергоемкости фрезерования от скорости проходки. А также были определены приведенные затраты в зависимости от соотношения мощности и скорости (рисунок 3).

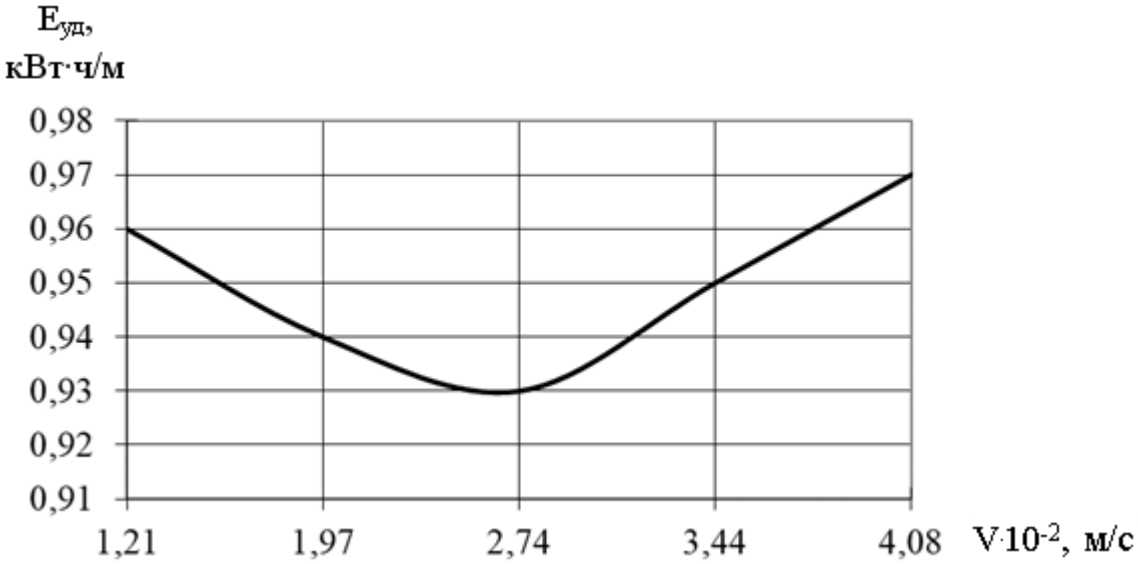



*Рисунок 2 – Зависимость удельной энергоемкости при фрезеровании от скорости проходки*
*Figure 2 – Dependence of the specific energy intensity during milling on the penetration speed*

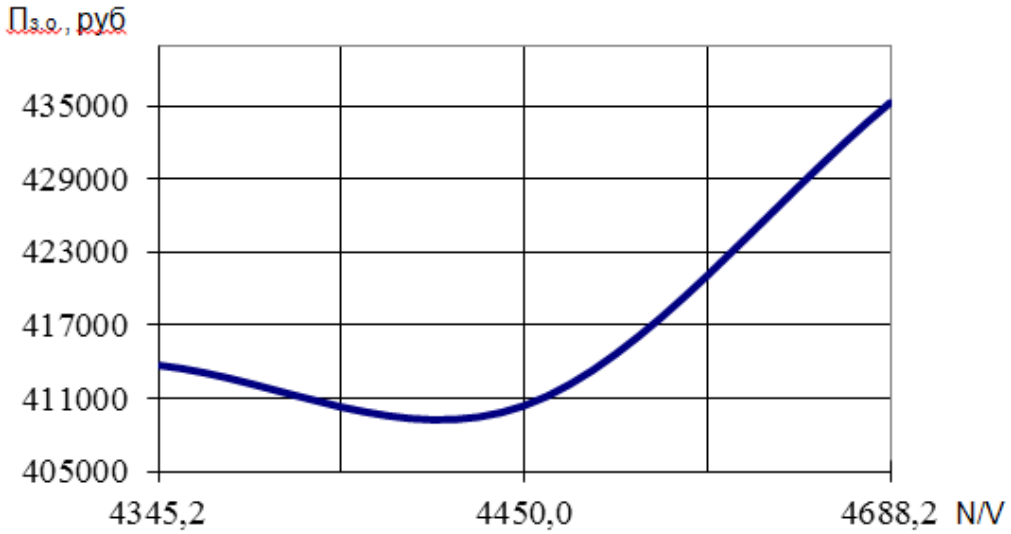



*Рисунок 3 – Зависимость приведенных затрат от соотношения мощности N и скорости V*
*Figure 3 – Dependence of the reduced costs on the power N and the speed V*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из графика, минимум приведенных затрат при соотношении скорости и мощности существует, что доказывают аналитические исследования. Используя экономико-математическое моделирование при решении задач строительных и дорожных машин получена формула приведенных затрат, которая позволяет связать данные затраты со скоростью проходки и мощностью. Скорость проходки и мощность связаны затем с конструкцией машины и режимом работы землеройных машин.

В дальнейшем использование этих показателей даст возможность определения оптимальных показателей назначения землеройных машин.

Применение экономико-математического моделирования при определении параметров рабочего органа землеройной машины является новым подходом, при котором возможно для достижения цели исследования сравнивать технологический процесс с технологическим процессом, а не машину с машиной.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кадыров, А.С. Теоретические основы проектирования и расчета бурильных и фрезерных землеройных машин / А.С. Кадыров, З.А. Мулдагалиев, А.С. Нурмаганбетов, Б.К. Курмашева, Ж.Ж. Жунусбекова. Караганда: Издательство Болашак-Баспа, 2010. 220 с.

2. Gong W., Dai G., Zhang H. Experimental study on pile-end post-grouting piles for superlarge bridge pile foundations // Journal Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. 2009. Vol.3, Iss.2. P. 228-233.

3. Кадыров А.С., Коркин А.А. Альбом универсальных технологических карт устройства набивных свай. ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, Экспресс-информация. Вып. 4. 1985. С. 19–22.

4. Далматов Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений. М.: Изд-воАСВ, 2001. 440 с.

5. Ветров, Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю.А. Ветров. М.: Машиностроение, 1971, 359 с.

6. Pai-Chi Chang, Fu-Shou Wang, Jia-Huei Hwang, Wei-Fang Chen. Research on the design and manufacturing of an outer cycloid slotting cutter /The International Journal of Advanced Manufacturing Technology/2005, Volume 27, Issue 3-4, pp 248-253.

7. DragoslavJanosevic, Rosen Mitrev, BobanAndjelkovic, PlamenPetrov. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging effici cy //Journal of Zhejiang University SCIENCE A/2012, Volume 13. Issue 12. pp 926-942.

8. Недорезов И.А., Савельев А.Г. Машины строительного производства. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 119 с.

9. Грузин В.В. Строительные машины и оборудование для подготовки оснований и устройства свайных фундаментов. Астана: Фолиант, 2003. 280 с.

10. Кузнецова В.Н. Решение задачи оптимизации параметров рабочих органов землеройных машин для разработки мерзлых грунтов // Вестник СибАДИ. 2010. №4(18). С. 10–14.

11. Св-во о гос. рег. прав на объект авторского права 1337 РК. Методика расчета винтовых рабочих органов большого диаметра и реализация результатов исследования / А.С. Кадыров, З.А. Мулдагалиев, Б.К. Курмашева, Ж.Ж. Жунусбекова; опубл. 01.07.15, Бюл. №002113. 8 с.

12. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.

13. Кадыров А.С., Бойко Н.В., Коркин А.А. Экономико-математическое моделирование технологии устройства набивных свай/Организация, механизация и экономика строительства в районах Восточной Сибири и Кранего Севера. Красноярск, 1982. С. 82–88.

14. Кадыров А.С., Хайбуллин Р.Р., Курмашева Б.К. Фрезерные и бурильные машины. Теория и расчет. Караганда: Изд-во ТОО «Санат-Полиграфия», 2007. 214 с.

15. Бестембек Е.С. Нагружение фрезерного рабочего органа для проходки траншей в грунтах: дис…канд. техн. наук: Караганда, КарГТУ, дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.05.04: защищена 10.05.07: утв. 21.12.07 /Е.С. Бестембек; науч. рук. проф. А.С. Кадыров; КарГТУ. Караганда, 2007. 123 с.

16. Хайбуллин, Р.Р. Разработка и расчет двухфрезерного рабочего органа для строительства фундаментов типа «стена в грунте» / Р.Р. Хайбуллин. Караганда : Санат, 2006. 115 с.

17. Экономико-математическое моделирование технологического процесса строительства подземных сооружений. Курмашева Б.К. 3-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Новые технологии и информатизации общества». Караганды: Болашак-Баспа, 2007. С. 41–42.

18. Тогизбаева Б.Б. Научное обоснование выбора технологических показателей работы горно-транспортного оборудования: дис. … док.техн. наук: 05.05.06. Караганда, 2010. 201 с.

19. Joseph E. Yukich. Probability Theory of Classical Euclidean Optimization Problems // Progress in Mathematics. 1972. Vol.13. P. 149-150.

20. Курмашева Б.К. Экспериментальное исследование вращения фрезерных рабочих органов в глинистом растворе. Республиканский журнал «Технология производства металлов и вторичных материалов», № 2(16), г. Темиртау, КарГИУ, 2009. С. 286–290.

21. Кадыров А.С., Курмашева Б.К., Нурмаганбетов А.С. Экономико-математическое моделирование технологии устройства набивных свай. Материалы V Международной научно-практической конференции «Aktualnivymox-enostivedi – 2009», 27-05 cervencu 2009 roku. Dil 3.Ekonomichkevedi.Praha.Education and science, 2009. С. 49-52.

22. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.

# ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF FOUNDATION CONSTRUCTION TECHNOLOGY BY THE "WALL IN THE GROUND" METHOD

***A.S. Kadyrov, B. K. Kurmasheva, I.V. Georgiadi***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The article is devoted to the development of the economic-mathematical model of the technological process of the trench foundations' construction, the indicators of which are related to the machine parameters, ground conditions and construction conditions.*

***Materials and methods.*** *As a criterion of optimality, the specific energy intensity of the process, which is included in the system indicators, is chosen. Dependencies are established in the research, which determine the correlation of the economic parameters of the drilling process (the cost of the machine, the wages of workers, the standard cost parameters) and the main parameters of the machines, namely power and speed.*

***Results.*** *As a result of experiments on the full-size test bench and the experimental model of the machine, theoretical dependences are confirmed, namely, the minimum specific energy intensity and the resulted costs, which are determined depending on the speed of penetration and the power used.*

***Discussion and conclusion.*** *The developed technique could be used to optimize parameters and other constructions and road machinery, which are not limited to the purpose of the present research. The technique is based on determining the optimal values of the penetration rate and the amount of consumed power, corresponding to the minimum given costs.*

**KEYWORDS:** *economic-mathematical modeling, «wall in soil» foundation, earth-moving machine tool, reduced costs, specific energy intensity.*

## REFERENCES

1. Kadyrov A.S., Muldagaliyev Z.A., Nurmaganbetov A.S., Kurmasheva B.K., Zhunusbekova ZH.ZH. *Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya I rascheta buril'nykh I frezernykh zemleroynykh mashin* [Theoretical foundations of design and calculation of drilling and milling excavation machines]. Karaganda, Izdatel'stvo Bolashak-Baspa, 2010. 220 p.

2. Gong W., Dai G., Zhang H. Experimental study on pile-end post-grouting piles for superlarge bridge pile foundations. *Journal Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*. China, 2009, Vol.3. Iss.2, pp. 228-233.

3. Kadyrov A.S., Korkin A.A. Al'bom universal'nykh tekhnologicheskikh kart ustroystva nabivnykh svay [Album of universal technological maps of the device of ramming piles]. TSBNTI *Minmontazhspetsstroya SSSR, Ekspress-informatsiya*, 1985, Vyp. 4, pp. 19–22.

4. Dalmatov B.I. *Proyektirovaniye fundamentov zdaniyi podzemnykh sooruzheniy* [Design of foundations of buildings and underground structures]. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2001. 440 p.

5. Vetrov, YU.A. *Rezaniye gruntov zemleroynymi mashinami* [Soil cutting with digging machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1971. 359 p.

6. Pai-Chi Chang, Fu-Shou Wang, Jia-Huei Hwang, Wei-Fang Chen. Research on the design and manufacturing of an outer cycloid slotting cutter. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 2005, Volume 27, Issue 3-4, pp. 248-253.

7. Dragoslav Janosevic, Rosen Mitrev, Boban Andjelkovic, Plamen Petrov. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficien . *Journal of Zhejiang University SCIENCE A,* 2012, Volume 13, Issue 12, pp 926-942.

8. Nedorezov I.A., Savel'yev A.G. *Mashiny stroitel'nogo proizvodstva* [Machines for building production]. Moscow, Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana, 2010. 119 p.

9. Gruzin V.V. *Stroitel'nyye mashiny I oborudovaniye dlya podgotovki osnovaniy I ustroystva svaynykh fundamentov* [Construction machines and equipment for foundation preparation and pile foundations]. Astana, Foliant, 2003. 280 p.

10. Kuznetsova V.N. Resheniye zadachi optimizatsii parametrov rabochikh organov zemleroynykh mashin dlya razrabotki merzlykh gruntov [Solution of the problem of optimizing the parameters of the working bodies of digging machines for the development of frozen soils].*VestnikSibADI*, 2010, no. 4 (18), pp. 10-14.

11. Kadyrov A.S., Muldagaliyev Z.A., Kurmasheva B.K., Zhunusbekova ZH.ZH. *Metodika rascheta vintovykh rabochikh organov bol'shogo diametra I realizatsiya rezul'tatov issledovaniya* [Method for calculating helical working bodies of large diameter and realization of the results of the research] Certificate of state. reg. rights to the object of copyright 1337 RK. opubl. 01.07.15, Byul.№002113, 8 p.

12. Batischev D.I. *Metody optimal'nogo proektirovaniya* [Optimal design methods]. Moscow, Radio I svyaz', 1984. 248 p.

13. Kadyrov A.S., Boyko N.V., Korkin A.A. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye tekhnologii ustroystva nabivnykh svay [Economic-mathematical modeling of the technology of ramming piles]. *Organizatsiya, mekhanizatsiya I ekonomika stroitel'stva v rayonakh Vostochnoy Sibiri I Kranego Severa.* Krasnoyarsk, 1982. pp. 82-88.

14. Kadyrov A.S., Khaibullin R.R., Kurmasheva B.K. *Frezernyye I buril'nyye mashiny.Teoriya I raschet.* [Milling and drilling machines. Theory and calculation]. Karaganda, Publishing house of Sanat-Polygraphy LLP, 2007. 214 p.

15. BestembekYe.S. *Nagruzheniye frezernogo rabochego organa dlya prokhodki transhey v gruntakh* [Loading of the milling tool for trenching in the ground]*:* dis. kand. tekhn. nauk. Karaganda, 2007. 123 p.

16. Khaybullin, R.R. *Razrabotka I raschet dvukhfrezernogo rabochego organa dlya stroitel'stva fundamentov tipa «stena v grunte»* [Development and calculation of a two-mill-

ing tool for the construction of foundations of the “wall in the ground” type]. Karaganda, Sanat, 2006. 115 p.

17. Kurmasheva B.K. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye tekhnologicheskogo protsessa stroitel’stva podzemnykh sooruzheniy [Economic and mathematical modeling of the technological process of construction of underground structures.]. *3-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh «Novyye tekhnologii I informatizatsii obshchestva*». Karaganda, Bolashak-Baspa, 2007. pp. 41-42.

18. Togizbayeva B.B. *Nauchnoye obosnovaniye vybora tekhnologicheskikh pokazateley raboty gorno-transportnogo oborudovaniya* [Scientific substantiation of the choice of technological indicators of mining equipment] dis. dok.tekhn. nauk. Karaganda, 2010. 201 p.

19. Joseph E. Yukich. Probability Theory of Classical Euclidean Optimization Problems.*Progress in Mathematics*, 1972, Vol.13, pp. 149-150.

20. Kurmasheva B.K. Eksperimental’noye issledovaniye vrashcheniya frezernykh rabochikh organov v glinistom rastvore [Experimental study of the rotation of milling tools in a clay solution]. *Respublikanskiy zhurnal «Tekhnologiya proizvodstva metallov I vtorichnykh materialov*». Temirtau, KarGIU, no. 2(16), 2009, pp. 286-290.

21. Kadyrov A.S., Kurmasheva B.K., Nurmaganbetov A.S. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniy etekhnologii ustroystva nabivnykh svay [Economic-mathematical modeling of the technology of the device of ramming piles]. *Materialy V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnivymox-enostivedi - 2009»*. Praha, Education and science, 2009, Dil 3, pp. 49-52.

22. Balovnev V.I. Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroitel’nykh mashin [Modeling the processes of interaction with the environment of working bodies of road-building machines]. Moscow, Vysshayashkola, 1981. 335 p.

***Поступила 31.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Кадыров Адиль Суратович (Казахстан, Караганда) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортная техника и логистические системы» Карагандинского государственного технического университета (100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, e-mail: adil.suratovich@gmail.com).*

*Kadyrov Adil Suratovich (Karaganda city, The Republic Of Kazakhstan) – Doctor of Technical Science, Professor of the department “Transport technology and logistic sistems”, Karaganda State Technical University (KSTU). (100027, The Republic Of Kazakhstan, Karaganda city, Mira Boulevard, No. 56, e-mail: adil.suratovich@gmail.com).*

*Курмашева Бакыт Куанышевна (Казахстан, Караганда) – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника и логистические системы» Карагандинского государственного технического университета (100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, e-mail: happiness_b@mail.ru).*

*Kurmasheva Bakhyt Kuanushevna (Karaganda city, The Republic Of Kazakhstan) – Candidate of technical science, Senior teacher of the department “Transport technology and logistic sistems”, Karaganda State Technical University (KSTU). (100027, The Republic Of Kazakhstan, Karaganda city, Mira Boulevard, No. 56, e-mail: happiness_b@mail.ru).*

*Георгиади Иван Владимирович (Казахстан, Караганда) – докторант кафедры «Транспортная техника и логистические системы» Карагандинского государственного технического университета (100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, e-mail: deputat-georgiadi@mail.ru).*

*Georgiadi Ivan Vladimirovich (Karaganda city, The Republic Of Kazakhstan) – doctoral student of the department “Transport technology and logistic sistems”, Karaganda State Technical University (KSTU). (100027, The Republic Of Kazakhstan, Karaganda city, Mira Boulevard, No. 56, e-mail: deputat-georgiadi@mail.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Кадыров А.С. Исследование состояния вопроса. Разработка плана исследования, постановка целей и задач, общее руководство.*

*Курмашева Б.К. Разработка экономико-математической модели системы «рабочий орган землеройной машины – технологический процесс». Проведение экспериментальной части исследования.*

*Георгиади И.В. Анализ технологических процессов строительства фундаментов. Технико-экономический анализ для обоснования конкретного вида критерия оптимальности. Перебор критериев оптимальности.*

УДК 621.879

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ И ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

***В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *В качестве объекта исследования рассмотрен процесс разработки мерзлых грунтов рабочими органами землеройных и землеройно-транспортных машин. Представлены основные аспекты разработанной математической модели и оригинальной методики исследования процессов пространственного взаимодействия рабочих органов землеройных машин с мерзлым грунтом, позволяющие получить эпюры распределения напряжений по поверхности рабочего органа плоской формы. Обоснован и доказан нелинейный характер распределения напряжений на контактной поверхности рабочего органа при взаимодействии с грунтом.*

***Материалы и методы.*** *Приведены описание и анализ результатов экспериментальных исследований по количественному определению коэффициентов, входящих в математическую модель, и установления границ ее адекватности. Установлены зависимости для определения экспериментальных коэффициентов аналитически.*

***Результаты.*** *Проведены исследования и анализ их результатов для установления аппроксимирующей зависимости между величиной силы разработки мерзлого грунта и пятном контакта на алюминиевой пластине. Для каждого значения абсциссы (координаты центра тяжести алюминиевой пластины) количественно определены значения суммарной нормальной силы. Показана хорошая сходимость теоретически полученных зависимостей с результатами эксперимента.*

***Обсуждение и заключение.*** *Проведенные исследования являются основой для методологии обоснования и определения оптимальных параметров рабочих органов землеройных машин повышенной эффективности путем снижения энергоемкости процесса разработки мерзлого грунта.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *рабочий орган, землеройная машина, землеройно-транспортная машина, мерзлый грунт, давление, прочность, напряжение, эпюра.*

## ВВЕДЕНИЕ

Освоение северных, арктических, дальневосточных регионов является на сегодняшний день одним из приоритетных направлений Российской Федерации. Актуальны задачи разработки и освоения месторождений нефти и газа, горнодобывающих и шельфовых проектов, развития транспортной системы и инфраструктуры. Россия, преобладающая часть территории которой занята вечномёрзлыми грунтами либо грунтами сезонного промерзания [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], сталкивается с целым рядом проблем при разработке таких грунтов. Необходимо учитывать и тот факт, что земляные работы производятся не только в летнее, но и в зимнее время ввиду смещения сроков строительства или высокой заболоченности местности. Поэтому вопрос разработки мерзлых и сезонно-промерзающих грунтов является актуальным. Возможность высокоэффективного круглогодичного производства земляных работ существенно увеличит производительность машин и снизит их простои, приведет к сокращению сроков ввода объектов строительства в эксплуатацию, ликвидирует сезонность в различных отраслях строительства, улучшит экономические показатели производственных объектов.

## ПОСТАНОВКА И МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В процессе разработки мерзлого грунта механическими рабочими органами происходит отделение его от массива и разрыхление до степени, обеспечивающей возможность дальнейшего транспортирования или экскавации.

Разработка мерзлых грунтов связана с множеством факторов, воздействующих на процесс их взаимодействия с рабочими органами землеройных и землеройно-транспортных машин [10,11,12 ,13,14,15,16,17,18,19, 20 ,21,22 ,23].

Сопротивляемость мёрзлых грунтов разрушению различными способами определяется такими параметрами, как плотность, влажность, температура, льдистость, механическая прочность, внешняя нагрузка, прочность смерзания, минерализация, а также упругими, электрическими, теплофизическими, термореологическими и другими параметрами грунтов [24,25,26]. Известно, что некоторые разновидности пластично-мерзлых грунтов при определенных условиях обладают сжимаемостью, характеризующейся уплотнением без возможного расширения и вызываемой сжимающей нагрузкой. Сжимаемость мерзлых грунтов зависит от его влажности, температуры, величины и продолжительности действия нагрузки [24].

Согласно расчетной схеме (рисунок 1) уравнение движения мерзлого грунта при воздействии на него плоской контактной поверхности рабочего органа в плоскости *XOY* имеет вид [27, 28]:

$$\rho\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial t}+\vartheta\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}, \qquad (1)$$

где $\rho, \vartheta, p$ – соответственно плотность, скорость и давление грунта; $t$ – время.

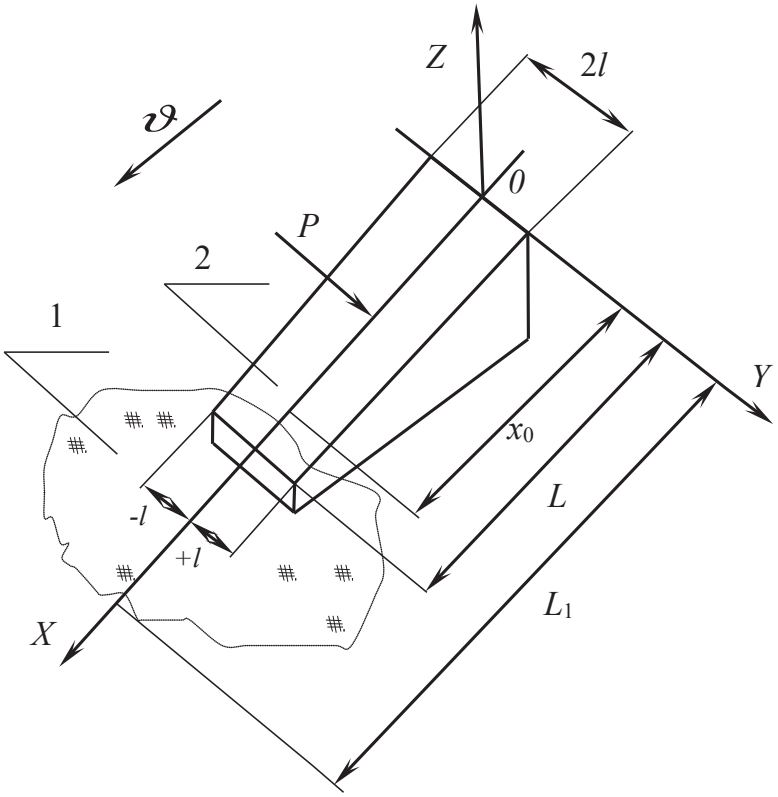



*Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия плоской контактной поверхности рабочего органа с мерзлым грунтом:*
*1 – грунт; 2 – рабочий орган*
*Figure 1 – The design scheme of the flat contact surface interaction of the working body with frozen soil*
*1 - ground; 2 - working element*

Уравнение (1) описывает закон сохранения импульса и включает в себя два уравнения: одномерного движения и неразрывности пластически сжимаемой среды.

Нормальная составляющая силы сопротивления мерзлого грунта разработке определяется как поверхностный интеграл

$$N = \iint_{\sigma} p_0 \; P(x)Q(y)d\sigma, \qquad (2)$$

где σ – площадь контактной поверхности рабочего органа; $p_0$ – величина нормального давления, действующего на элементарную площадку лобовой поверхности рабочего органа; *P*(*x*), *Q(y)* – характеристические нормированные функции, описывающие закономерности распределения давления по поверхности рабочего органа в плоскостях *X0Z* и *Y0Z*.

Значение $p_0$ изменяется по поверхности рабочего органа в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого грунта и режимов разработки от минимального значения $p_0^{\min}$ до величины, численно равной максимальному значению сопротивления грунтов сжатию $[\sigma_{сж}]$:

$$p_0^{\min} \le p_0 \le [\sigma_{сж}]. \qquad (3)$$

При контакте рабочего органа землеройной машины с мерзлым грунтом возникает сжатый клин грунта, в котором увеличивается его плотность. Процесс распространения деформаций в грунте является следствием не только ударных нагрузок, но и увеличения скорости движения рабочих органов землеройных машин, и чередования сколов грунта [29]. В этом случае скорость частиц грунта, движущихся по оси *OX*, зависит только от времени, поэтому

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial x} = 0. \qquad (4)$$

Аналитически была получена зависимость распределения давления, действующего на поверхность рабочего органа по его ширине в плоскости *Y0Z* [27]:

$$Q(y) = \frac{1 + ay^2}{(1 + \frac{a}{a+2} \; y^2)^2}, \qquad (4)$$

где *a* – коэффициент, определяемый из начальных условий.

Из графика функции *Q(y)* (*рисунок* 2) *видно,* что *б*оковые грани рабочего органа являются концентраторами напряжений, поэтому именно здесь наблюдается максимальное значение функции *Q(y)*. Следует отметить, что глобальный максимум функции *Q(y)* вдоль оси *X* находится в плоскости, расположенной выше режущей кромки рабочего органа. В данной плоскости происходит сдвиг элементов стружки грунта, тогда как нижняя часть рабочего органа продолжает вдавливаться в грунт [30].

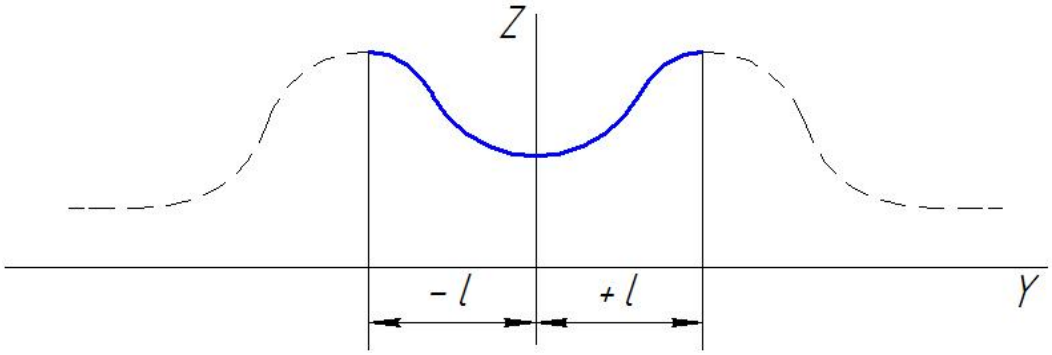



*Рисунок 2 – Вид функции Q(y) l – половина ширины рабочего органа*
*Figure 2 – Function form of the Q (y) l - the width's half of the working body*

Для корректного выбора функции распределения давления по поверхности рабочего органа в плоскости *X0Z* необходимо отметить, что многие исследователи, в том числе В. В. Соколовский [31], отмечают линейный характер распределения напряжений на подпорной стенке (на рабочем органе) по высоте

$$P(x) = 1 + kx \cdot \gamma, \qquad (6)$$

где *k* – коэффициент, зависящий от углов внутреннего трения и резания; γ – объемная сила тяжести грунта, кН/м$^3$.

Однако анализ схемы воздействия на грунт рабочего органа и результаты экспериментальных исследований, приведенные ниже, дают основание утверждать, что характер изменения функции *P*(*x*) имеет нелинейный характер (рисунок 3) и подчиняется зависимости

$$P(x) = \left[1 + 2\ a_2 \cdot a_3 \cdot x \cdot e^{-a_3 x^2}\right], \qquad (7)$$

где $a_2$, $a_3$ – коэффициенты пропорциональности, зависящие от физико-механических свойств разрабатываемого мерзлого грунта и режимов рыхления.

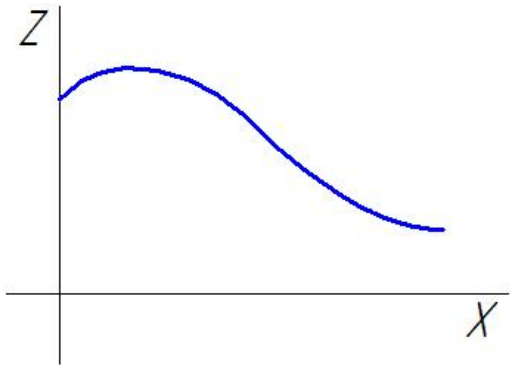



*Рисунок 3 – Вид функции P(x)*
*Figure 3 – Function form of the P(x)*

В этом случае закономерность распределения давления по поверхности рабочего органа можно представить как

$$P(x,y) = P^*(x) \cdot Q(y) = \frac{P(x)}{P^{\max}(x)} \cdot Q(y) \cdot \qquad (8)$$

Тогда зависимость (2) преобразуется в следующий вид:

$$N = \iint_F P(x,y)\,dx\,dy =$$

$$= \frac{1}{P^{\max}(x)} \iint_F P(x) \cdot Q(y)\,dx\,dy, \qquad (8)$$

где F – площадь контактной поверхности рабочего органа.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Величина силы в зоне контакта рабочего органа с мерзлым грунтом достигает своего максимального значения в момент, непосредственно предшествующий отделению грунта от массива, и зависит от глубины разработки грунта и эпюры распределения нагрузок на контактной поверхности рабочего органа. Закономерность распределения нагрузки по контактной поверхности рабочего органа землеройной машины, предложенная А.Н. Зелениным [30], не имеет достаточно полных ни теоретических, ни экспериментальных доказательств. Следовательно, возникает необходимость в установлении эпюры распределения нагрузок. Данные исследования проведены на экспериментальной установке (рисунок 4). Кроме этого, в результате проведенного эксперимента были определены значения коэффициентов, входящих в представленную выше математическую модель, и подтверждена адекватность теоретических исследований взаимодействия рабочего органа с разрабатываемым мерзлым грунтом.

На подвижной тележке установки (рисунок 4) закрепляется экспериментальная модель рабочего органа (модель зуба) с возможностью изменения угла резания. Модель представляет собой металлическую конструкцию, в которой по всей длине режущей кромки выфрезерованы 5 канавок размером 20х20 мм. В каждой канавке высверлено по четыре отверстия, в которые приклеены на эпоксидный клей металлические шарики диаметром 5 мм таким образом, чтобы все они находились на одном уровне. В канавки модели зуба помещаются сменные элементы (алюминиевые пластины), которые при проведении экспери-

*Рисунок 4 – Экспериментальная установка с моделью рабочего органа*
*Fig. 4 – Experimental installation with working body model*

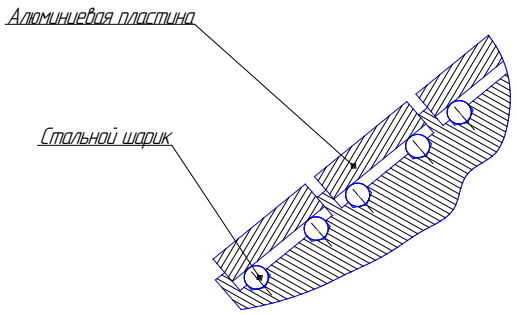



*Рисунок 5 – Экспериментальные пластины с шариками*
*Fig. 5 – Experimental plates with balls*

мента ,с одной стороны, опираются на четыре шарика, а с другой – на грунт. Таким образом, пластины являются индикаторами сил воздействия грунта на рабочий орган (рисунок 5). В качестве модели мерзлого грунта использовался предварительно замороженный грунт, находящийся в специально изготовленной сварной металлической конструкции.

Схема внедрения экспериментального зуба приведена на рисунке 6. Если рассматривать изменение значения функции *Q(y)* вдоль оси *X*, то следует отметить, что ее глобальный максимум находится в плоскости, расположенной выше режущей кромки рабочего органа (рисунок 6). В данной плоскости происходит сдвиг элементов стружки грунта, тогда как нижняя часть рабочего органа продолжает вдавливаться в грунт.

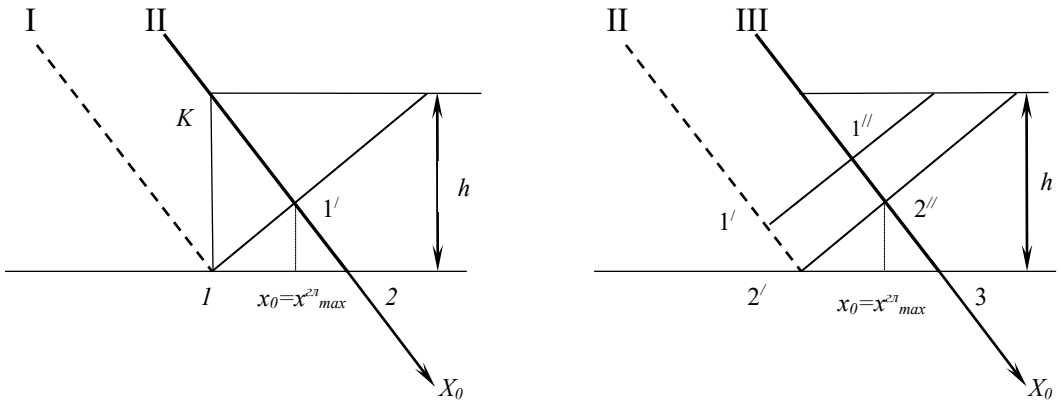



*Рисунок 6 – Схема воздействия на мерзлый грунт экспериментального зуба*
*Fig. 6 – Diagram of the experimental tooth's effect on the frozen soil*

Рабочий орган из положения I перемещается в положение II. За это время происходит скол грунта по линии 1 – 1/. За этот период грунт в объеме 1К2 будет сжат и его частицы переместятся в направлении нормали к рабочей грани рабочего органа. Перейдя из положения 1 в положение 1/, частица грунта прошла наибольший путь. Следовательно, напряжение сжатия в точке 1/ будет наибольшим, и плоскость разрушения пройдет через эту точку.

Далее, продвинувшись из положения II в положение III, на расстояние 2 – 3, рабочий орган переместит все частицы грунта на расстояние 1/ – 1//. Скол произойдет по линии разрушения 2 – 2/, так как точка 2/ наиболее удалена от дневной поверхности и в ней будет наблюдаться наибольшее давление. Следовательно, в точках 1/ и 2/ с координатами $x = x_0 = x'max$, $y = \pm l$ будет находиться глобальный максимум распределения давлений по длине рабочего органа рыхлителя, при

котором значение величины нормального давления, действующее на лобовую поверхность рабочего органа и определяемое по формуле (8), максимально.

При передвижении подвижной тележки экспериментальный зуб внедрялся в грунт и шарики вдавливались в алюминиевые пластины, оставляя на последних отпечатки определенного диаметра. По пятну контакта на алюминиевой пластине от шариков необходимо было определить величину силы, возникающей при рыхлении мерзлого грунта по всей длине рабочей поверхности экспериментального зуба. Для этого были замерены диаметры отпечатков шариков на пластинах. Результаты замеров показаны в таблица 1.

Таблица 1
ДИАМЕТРЫ ОТПЕЧАТКОВ НА ПЛАСТИНАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗУБА
Table 1
DIAMETERS OF PRINTS ON THE EXPERIMENTAL TOOTH'S PLATES

| Номер пластины | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Диаметр отпечатка d, мм | 0,8 | 1 | 2 | 2 | 1,25 |

Проведены исследования для получения аппроксимирующей зависимости между величиной силы рыхления мерзлого грунта и пятном контакта на алюминиевой пластине при помощи лабораторного комплекса ЛКСМ-1К (таблица 2).

Замер диаметров проводился по следующей методике.

Экспериментальные шарики вдавливались в алюминиевые пластины под действием заранее известной величины силы $Q_Э$, создаваемой вертикальным перемещением траверсы лабораторного комплекса. После этого определялись диаметры отпечатков пятен контактов шариков с пластинами (таблица 2). На одном отпечатке определялись два взаимно перпендикулярных диаметра, обозначенные в таблице 2 соответственно $d_1$ и $d_2$.

Таблица 2
ДИАМЕТРЫ ОТПЕЧАТКОВ НА ПЛАСТИНАХ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ
Table 2
DIAMETERS OF PRINTS ON PLATES OBTAINED ON A LABORATORY COMPLEX

| Создаваемая сила внедрения $Q_Э$, Н | Диаметр отпечатка, мм | |
|---|---|---|
| | $d_1$ | $d_2$ |
| 150 | 0,52 | 0,53 |
| | 0,61 | 0,58 |
| | 0,55 | 0,52 |
| 200 | 0,63 | 0,68 |
| | 0,64 | 0,71 |
| | 0,67 | 0,63 |
| 300 | 0,93 | 0,98 |
| | 1,05 | 1,05 |
| | 0,97 | 0,96 |
| 500 | 1,28 | 1,25 |
| | 1,32 | 1,31 |
| | 1,27 | 1,29 |
| | 1,31 | 1,27 |
| 700 | 1,52 | 1,49 |
| | 1,48 | 1,45 |
| | 1,53 | 1,54 |
| | 1,49 | 1,51 |
| 1000 | 1,85 | 1,83 |
| | 1,84 | 1,82 |
| | 1,89 | 1,88 |
| | 1,85 | 1,84 |

Таблица 3
ЗНАЧЕНИЯ СУММАРНОЙ НОРМАЛЬНОЙ СИЛЫ ПО ДЛИНЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ОРГАНА
Table 3
VALUES OF THE TOTAL NORMAL FORCE ALONG THE EXPERIMENTAL MODEL LENGTH OF THE WORKING BODY

| *X,* м | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 |
|---|---|---|---|---|---|
| *N,* Н | 764 | 1 978 | 6 733 | 11 508 | 133 743 |

Пластина помещалась на покровное стекло микроскопа. При проведении исследований использовался окулярный вкладыш с нанесённой на него шкалой, который вставляется в окуляр между линзами. Такой окуляр получил название окуляром-микрометром. Расстояние между делениями шкалы окуляра-микрометра равнялось 0,1 мм. Поскольку окуляры применялись в комбинации с различными объективами, для каждого увеличения цена деления окуляра-микрометра определялась отдельно с помощью объекта-микрометра. Последний представляет собой металлическую пластину со шкалой. На ней нанесено 100 делений. Расстояние между соседними делениями равно 0,01 мм, а общая длина шкалы 1 мм. Объект-микрометр служит для определения увеличения микроскопа и выполнения абсолютных измерений с окулярами.

В результате обработки данных эксперимента и замеров была получена регрессионная зависимость величины силы $Q_Э$ от диаметра отпечатка экспериментального шарика:

$$Q_Э = b_1 d^2, \qquad (10)$$

где $b_1$ – коэффициент пропорциональности ($b_1$ = 298,45); $d$ – диаметр отпечатка шарика.

Коэффициент $b_1$ пропорционален удельному сопротивлению, оказываемому пластиной при внедрении экспериментального шарика. Величина $b_1$ является постоянной.

Для каждого значения абсциссы $X$ (координаты центра тяжести пластины) экспериментально определены значения суммарной нормальной силы, действующей на рабочий орган (таблица 3).

Максимальное значение давления грунта на рабочем органе рыхлителя [27]:

$$p_{\max} = a_1\left[[1+2\ a_2\ a_3\sqrt{\frac{1}{2a_3}}\ e^{0,5}]\right]\frac{1(a+2)^2}{4(a+1)}. \qquad (11)$$

Из графика зависимости $p_{max} = f(a)$ определяются значение коэффициента $a$ = 1 для мерзлого песка, для которого предел прочности на сжатие [$\sigma_{сж}$] равен 10 МПа.

Соответствующие найденному значению коэффициента $a$ = 1 величины остальных коэффициентов составят: $a_1$ = 1,58 · 105 Па, $a_2$ = 63,56, $a_3$ = 1,01.

Анализ полученной зависимости показывает, что горизонтальная составляющая сопротивления рыхлению $P_p$ прямо пропорциональна глубине рыхления $h$. Это согласуется с исследованиями проф. А.Н. Зеленина [13].

$$P_p = a_1 \cdot \left[1+a_2\left(1-e^{-a_3}\right)\right]\cdot\frac{h}{\sin\alpha}\cdot l\cdot k_y\cdot(\sin\alpha+\cos\alpha) =$$

$$= a_1 \cdot \left[1+a_2\left(1-e^{-a_3}\right)\right]\cdot h\cdot l\cdot k_y\cdot(1+\operatorname{ctg}\alpha). \qquad (12)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из представленных выше зависимостей и с учетом экспериментально полученных значений коэффициентов, входящих в математическую модель, графически были установлены пространственные эпюры распределения напряжений по поверхности рабочих органов землеройных машин при их взаимодействии с мерзлым грунтом.

Анализ эпюр показывает, что наибольшие напряжения наблюдаются в зонах глобального максимума, расположенных симметрично относительно продольной плоскости рабочего органа. Эти зоны находятся выше режущей кромки рабочего органа по длине и смещены к крайним точкам профиля лобовой поверхности. Координаты нахождения зон глобального максимума зависят от физико-механических свойств разрабатываемого грунта, условий его разрушения, параметров рабочего органа. Полученная аналитически эпюра распределения напряжений по длине рабочего органа согласуется с регрессионной зависимостью, установленной по результатам эксперимента; погрешность составляет 6 – 8 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вялов С.С. Реология мерзлых грунтов: научное издание. М.: Стройиздат, 2000. 464 с.

2. Baker D. G., Ruschy D. L. Calculated and Measured Air and Soil Freeze-Thaw Frequencies // American Meteorological Sociaty. 1995. V. 34, no. 10. P. 2197-2205.

3. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC Press, 2007. 448 p.

4. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: общая и прикладная: учебное пособие. М.: Строительство, 2013. 448 с.

5. Ершов Э.Д. Лабораторные методы исследования мерзлых пород. М.: Изд-во МГУ, 1985. 146 с.

6. Zhu Y. Constitutive Relations of Frozen Soil in Uniaxial Compression // Journal of Glaciology and Geocryology. 1992. №3. P. 216-220.

7. Роман Л.Д. Механика мерзлых грунтов. М.: Наука-Интерпериодика, 2002. 426 с.

8. Li Q. Development of Frozen Soil Model // Advances in Earth Science. 2006. № 12. P. 96 – 103.

9. Sun X. ACT–timely experimental study on meso-scopic structural damage development of frozen soil under triaxial shearing // Rock and Soil Mechanics. 2005. № 8. P. 150 – 163.

10. Баловнев В.И. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия машин с многофазными средами: взаимодействие рабочих органов строительных, дорожных и коммунальных машин с грунтом и другими материалами. М.: МАДИ, 2000. 61 с.

11. Баловнев В.И., Нгуен З.Ш. Определение сопротивлений при разработке грунтов рыхлителем по интегральному показателю прочности // Строительные и дорожные машины. 2005. № 3. С. 38–40.

12. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М.: Машиностроение, 1971. 357 с.

13. Желукевич Р.Б. Разработка мерзлых грунтов землеройными машинами с дисковым инструментом. – Красноярск: СФУ, 2012. 194 с.

14. Дьяков И.Ф., Ивкин В.С., Жукова Д.В. Некоторые теоретические основы разрушения грунта газоимпульсным рыхлителем // Вестник СГТУ. 2013. Том 2. № 2с (71). С. 242 – 245.

15. Talalay P. G. Subglacial till and bedrock drilling // Cold Regions Science and Technology. 2013 – Vol. 86. P. 142-166.

16. Лещинер В. Б. Совершенствование инструмента для резания мерзлых грунтов. Томск: Изд-во Томского университета, 1991. 210 с.

17. Евдокимов А.Н., Васильев С.И., Жубрин В.Г. Аналитическое определение силы сопротивления внедрению инструмента в мерзлый грунт // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 11. С. 115 – 118.

18. Завьялов А.М, Завьялов М.А., Кузнецова В.Н. Взаимодействие дорожных и строительных машин с контактной средой: монография. Омск: КАН, 2011. 370 с.

19. Мартюченко И.Г. Машины и оборудование для разработки и бурения мерзлых грунтов [Электронный ресурс]: учебное пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. 101 с.

20. Растегаев И.К. Механика и теплофизика статистического рыхления вечномерзлых грунтов. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1988. 222 с.

21. Волков Д.П. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.

22. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil // Cold Regions Science and Technology. 2011. Vol. 65. P. 421 – 428.

23. Ryabets N., Kirzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra–high frequency energy // Cold Regions Science and Technology. 2003. Vol. 36. P. 115 – 128.

24. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 1973.194 с.

25. Васильев С.И. Вероятностные физико-механические характеристики грунтов Восточно-Сибирского региона // Транспортное строительство. 2013. № 3 (19). С. 28–30.

26. Недорезов И.А. Вариации прочности грунтов, разрабатываемых в строительстве // Транспортное строительство. № 8. 2013. С. 29 – 30.

27. Кузнецова В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: дис… д-ра техн. наук. Омск, 2009. 259 с.

28. Завьялов А.М., Завьялов М.А., Кузнецова В.Н., Мещеряков В.А. Математическое моделирование рабочих процессов дорожных и строительных машин: имитационные и адаптивные модели: монография – Омск : СибАДИ, 2012. 411 с.

29. Рахматуллин Х.А., Сагомонян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. М.: МГУ, 1964. 124 с.

30. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 420 с.

31. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Физматгиз, 1960. 214 с.

# SIMULATION OF THE CONTACT PROCESS INTERACTIONS OF LAND-MOVING AND EARTH-TRANSPORT MACHINES' WORKING BODIES WITH FROZEN SOIL

***V.N. Kuznetsova, I.S. Kuznetsov***

**ABSTRACT**

***Introduction.*** *The process of developing frozen soils is considered by the working equipment of earth-moving and earth-moving machinery as a research object. The main aspects of the developed mathematical model and the original method for studying the processes of spatial interaction of the excavating machines' working bodies with frozen soil are presented. Moreover, such aspects allow to obtain the stress distribution diagrams over the surface of the working body. The nonlinear character of the stresses' distribution on the contact surface of the working body during the interaction with the soil has been substantiated and proved.*

***Materials and methods.*** *The description and analysis of the experimental results on the coefficients' quantitative determination, which enter into the mathematical model, and also the boundaries' establishment of their adequacy are given. The dependencies have been established to determine the experimental coefficients analytically.*

***Results.*** *The investigations and analysis of the results have been carried out to establish an approximating interrelation between the strength of the frozen soil development and the contact spot on the aluminum plate. Therefore, each abscissa value (the gravity center coordinates of the aluminum plate) and the values of the total normal force are quantified. As a result, good convergence of theoretically obtained dependences with experimental results is shown.*

***Discussion and conclusion.*** *The carried out researches are the basis for the justifying and determining methodology for the working equipment's optimal parameters of earth-moving machines with increased efficiency by reducing the energy intensity of the developing frozen soils' process.*

**KEYWORDS:** *working equipment, earthmoving machine, earthmoving-transport machine, frozen soil, pressure, strength, stress, diagram.*

## REFERENCES

1. Vyalov S.S. *Reologiya merzlyih gruntov* [Rheology of frozen soils]. Moscow, Stroiizdat, 2000. 464 p.

2. Baker D. G., Ruschy D. L. Calculated and Measured Air and Soil Freeze-Thaw Frequencies. *American Meteorological Sociaty*, 1995, v 34. no. 10, pp. 2197-2205.

3. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC Press, 2007. 448 p.

4. Tsytovich N.A. *Mekhanika merzlyh gruntov: obshchaya i prikladnaya* [Mechanics of frozen soils: general and applied]. Moscow, Building, 2013. 448 p.

5. Ershov E.D. *Laboratornye metody issledovaniya merzlyh porod* [Laboratory methods for studying frozen rocks]. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1985. 146 p.

6. Zhu Y. Constitutive Relations of Frozen Soil in Uniaxial Compression. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1992, no. 3, pp. 216-220.

7. Roman L.D. *Mekhanika merzlyh gruntov* [Mechanics of frozen soils]. Moscow, Nauka-Interperiodica, 2002. 426 p.

8. Li Q. Development of Frozen Soil Model. *Advances in Earth Science*, 2006, no. 12, pp. 96-103.

9. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic structural damage development of frozen soil under triaxial shearin. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, no. 8, pp. 150-163.

10. Balovnev V.I. *Modelirovanie i prognozirovanie processov vzaimodejstviya mashin s mnogofaznymi sredami: vzaimodejstvie rabochih organov stroitel'nyh, dorozhnyh i kommunal'nyh mashin s gruntom i drugimi materialami* [Modeling and forecasting of processes of interaction of machines with multiphase media: interaction of working bodies of construction, road and municipal machines with soil and other materials]. Moscow, MADI, 2000. 61 p.

11. Balovnev V.I., Nguyen Z. Sh. *Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelyu prochnosti* [Determination of resistance in the development of soils by a ripper with an integral index of strength]. *Construction and road machines,* 2005, no. 3, pp. 38-40.

12. Winds Yu. A. *Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami* [Soil cutting with digging machines]. Moscow, *Mechanical Engineering*, 1971. 357 p.

13. Zhelukevich R. B. *Razrabotka merzlyh gruntov zemlerojnymi mashinami s diskovym instrumentom* [Development of frozen soils with digging machines with a disk tool]. Krasnoyarsk, SFU, 2012. 194 p.

14. D'yakov I.F., Ivkin V.S., Zhukova D.V. *Nekotorye teoreticheskie osnovy razrusheniya grunta gazoimpul'snym ryhlitelem* [Some theoretical bases of soil destruction by a gas-impulse ripper]. *Vestnik SSTU*, 2013, Volume 2, no. 2c (71), pp. 242-245.

15. Talalay P. G. Subglacial till and bedrock drilling. *Cold Regions Science and Technology*, 2013, vol 86, pp. 142-166.

16. Leschiner V.B. *Sovershenstvovanie instrumenta dlya rezaniya merzlyh gruntov* [Perfection of a tool for cutting frozen soils]. Tomsk, Publishing house of Tomsk University, 1991. 210 p.

17. Evdokimov A.N., Vasilyev S.I., Zhubrin V.G. *Analiticheskoe opredelenie sily soprotivleniya vnedreniyu instrumenta v merzlyj grunt* [Analytical definit on of the force of resistance to the introduction of tools into the frozen ground]. *Sistemy. Methods. Technologies*, 2011, no. 11, pp. 115-118.

18. Zavyalov A.M., Zavyalov M.A., Kuznetsova V.N. *Vzaimodejstvie dorozhnyh i stroitel'nyh mashin s kontaktnoj sredoj* [Interaction of road and construction machines with a contact medium]. Omsk, CAS, 2011. 370 p.

19. Martyuchenko I.G. *Mashiny i oborudovanie dlya razrabotki i bureniya merzlyh gruntov* [Machines and equipment for the development and drilling of frozen soils]. Saratov, Sarat. state. tech. University, 2009. 101 p.

20. Rastegaev I.K. *Mekhanika i teplofizika statisticheskogo ryhleniya vechnomerzlyh gruntov* [Mechanics and Thermophysics of Statistical Loosening of Permafrost Soils]. Krasnoyarsk, Publishing House of the Krasnoyarsk University, 1988. 222 p.

21. Volkov D.P. *Mashiny dlya zemlyanyh rabot* [Machines for excavation]. Moscow, Mechanical Engineering, 1992. 448 p.

22. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of the wing fracture of the frozen soil. *Cold Regions Science and Technology*, 2011, vol. 65, pp. 421-428.

23. Ryabets N., Kirzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. *Cold Regions Science and Technology*, 2003, vol. 36, pp. 115-128.

24. *Rukovodstvo po opredeleniyu fizicheskih, teplofizicheskih i mekhanicheskih harakteristik merzlyh gruntov* [Manual on the determination of physical, thermophysical and mechanical characteristics of frozen soils]. Moscow, Stroiizdat, 1973. 194 p.

25. Vasiliev S.I. *Veroyatnostnye fiziko-mekhanicheskie harakteristiki gruntov Vostochno-Sibirskogo regiona* [Probabilistic physical and mechanical characteristics of soils of the East Siberian region]. *Transport construction*, 2013, no. 3 (19), pp. 28-30.

26. Nedorezov I.A. *Variacii prochnosti gruntov, razrabatyvaemyh v stroitel'stve* [Variations in the strength of soils developed in construction]. *Transport construction*, 2013, no. 8, pp. 29-30.

27. Kuznetsova V.N. *Razvitie nauchnyh osnov vzaimodejstviya kontaktnoj poverhnosti rabochih organov zemlerojnyh mashin s merzlymi gruntami* [Development of scientific bases of interaction of a contact surface of working bodies of digging machines with frozen soils]. dis Dr. tehn. sciences. Omsk, 2009. 259 p.

28. Zavyalov A.M., Zavyalov M.A., Kuznetsova V.N., Meshcheryakov V.A. *Matematicheskoe modelirovanie rabochih processov dorozhnyh i stroitel'nyh mashin: imitacionnye i adaptivnye modeli* [Mathematical modeling of working processes of road and building machines: simulation and adaptive models]. Omsk, SibADI, 2012. 411 p.

29. Rakhmatullin H.A., Sagomonyan A.Ya., Alekseev N.A. *Voprosy dinamiki gruntov* [Questions of the dynamics of soils]. Moscow, Moscow State University, 1964. 124 p.

30. Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P. *Mashiny dlya zemlyanyh rabot* [Machines for excavation works]. Moscow, Mechanical Engineering, 1975. 420 p.

31. Sokolovsky V.V. *Statika sypuchej sredy* [Static of the granular medium]. Moscow, Fizmatgiz, 1960. 214 p.

***Поступила 16.10.2017, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Виктория Николаевна Кузнецова (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).*

*Victoria N. Kuznetsova (Omsk, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Operation and Service of Transport and Technological Machines and Systems in Construction" of the "SibADI" (644080, Omsk, Russia, 5 Mira Ave., e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).*

*Илья Сергеевич Кузнецов (Омск, Россия) – студент факультета «Нефтегазовая и строительная техника» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).*

*Ilya S. Kuznetsov (Omsk, Russia) – student of the faculty "Oil-and-gas and Building Technology" of the "SibADI" (644080, Omsk, Russia, 5 Mira Ave., e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Кузнецовой В.Н. заключается в: разработке и апробации математической модели, анализе результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований, формировании заключения, научном руководстве написания статьи.*

*Кузнецова И.С. заключается в аналитическом обзоре предыдущих исследований, обработке результатов экспериментальных данных, дальнейшем их переложении в программный продукт для оптимизации параметров рабочих органов землеройных машин, формировании библиографического списка.*

УДК 621.86/87

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК КРЕПЛЕНИЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО КАНАТА НА КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬ ГРУЗА НА СТРЕЛЕ КРАНА-ТРУБОУКЛАДЧИКА

***Р.Ю. Сухарев, В.В. Танский***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Работа крана-трубоукладчика в сложных грунтовых условиях оказывает существенное влияние на процесс выполнения работ и режим работы машины. Неровности микрорельефа являются основной причиной для колебаний груза, зачастую приводящих к аварийным ситуациям. В работе рассмотрены инженерные решения, направленные на снижение негативного влияния колебания груза на стреле крана-трубоукладчика. Обоснована необходимость нового инженерного решения, направленного на ограничение амплитуды колебаний груза на стреле крана-трубоукладчика.*

***Материалы и методы.*** *Для исследования использована математическая модель, где кран-трубоукладчик представляет собой шарнирно сочлененный многозвенник с наложенными на него упруго-вязкими связями. Кинематика звеньев описана с помощью метода однородных координат, динамика звеньев описана системой уравнений Лагранжа 2 рода.*

***Результаты.*** *Построены следующие зависимости: колебательность груза от координат крепления уравновешивающего каната к стреле и грузовому канату, для диапазона углов наклона стрелы от 30° до 80°. Определено влияние координат крепления уравновешивающего каната к стреле и грузовому канату на колебательность груза, для фиксированного значения длины грузового каната.*

***Обсуждение и заключение.*** *Дана оценка влияния координат крепления уравновешивающего каната к стреле и грузовому канату на колебательность груза на стреле крана-трубоукладчика.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *кран-трубоукладчик, колебания, груз, колебательность, уравновешивающий канат, расчетная схема, грузовой канат, ограничение колебаний.*

## ВВЕДЕНИЕ

Наличие неровностей микрорельефа при выполнении работ по обустройству газовых и нефтяных месторождений прокладки трубопровода является одним из основных факторов, негативно влияющих на колебания груза на стреле крана-трубоукладчика [2, 6, 7, 8, 10, 22]. Следует учесть, что раскачивание груза на стреле вследствие преодоления неровностей микрорельефа может привести к повреждениям стрелы, самого груза, а также сооружений ,расположенных вблизи производимых работ, ведет к снижению скорости и точности выполняемых работ. В процессе укладки трубопровода при наличии колебаний возникает вероятность удара трубы о стенку траншеи, повреждении укладываемого трубопровода и его изоляции. Анализ типовых эксплуатационных дефектов показывает, что большинство нештатных, аварийных ситуации происходят в режиме перемещения крана с грузом [2, 6, 7, 8].

Был проведен анализ инженерных решений, направленных на снижение негативного влияния колебаний груза на стреле крана-трубоукладчика [15, 16, 17, 18, 20]. Полезные модели [15, 16, 17] схожи по принципу действия, эффект в них достигается за счет включения в конструкцию упруго-вязкого тела Фохте, которое, в случае резкого возрастания силы на крюке, позволяет плавно разгрузить кран за счет перераспределения нагрузки на соседние краны.

Полезная модель [18] призвана защитить стрелу от удара об нее груза за счет гашения части энергии удара на деформацию пружины. Работа полезной модели [20] аналогична за исключением того, что предложенная гидравлическая схема позволяет гасить колебания после удара груза о стрелу за счет изменения давления газа в гидропневмоаккумуляторе и рассеивании энергии в регулируемом дросселе.

Рассмотренные инженерные решения снижают негативные влияния колебаний груза на

стреле крана-трубоукладчика. Однако они не решают вопрос с ограничением самих колебаний.

Была выдвинута гипотеза, что ограничение степени свободы груза в поперечной вертикальной плоскости за счет введения в конструктивную схему дополнительной связи позволит снизить амплитуду колебания груза на стреле. Предложен новый способ закрепления груза на стреле при помощи уравновешивающего каната (УК), позволяющий существенно снизить амплитуду колебания груза на стреле [19]. Важно понять, какое расположение УК является наиболее эффективным.

Исходя из назначения УК критерий эффективности должен оценивать основные параметры, характеризующие ход колебательного процесса, быть при этом сравнительно легким для представления и измерения. Учитывая вышеперечисленные требования, за критерий эффективности принимаем колебательность μ.

Колебательность – отношение двух соседних максимальных положительных отклонений переходной характеристики, выражаемая в процентах формула 2 [21].

Таким образом, чем ниже значение колебательности ,тем эффективнее работа УК.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рисунке 1 представлена расчетная схема крана-трубоукладчика, оснащенного УК. При составлении схемы были приняты следующие допущения: кран-трубоукладчик является стационарной и голономной системой, представляет собой шарнирно-сочлененный многозвенник с наложенными на него упруго-вязкими и динамическими связями, внеш-

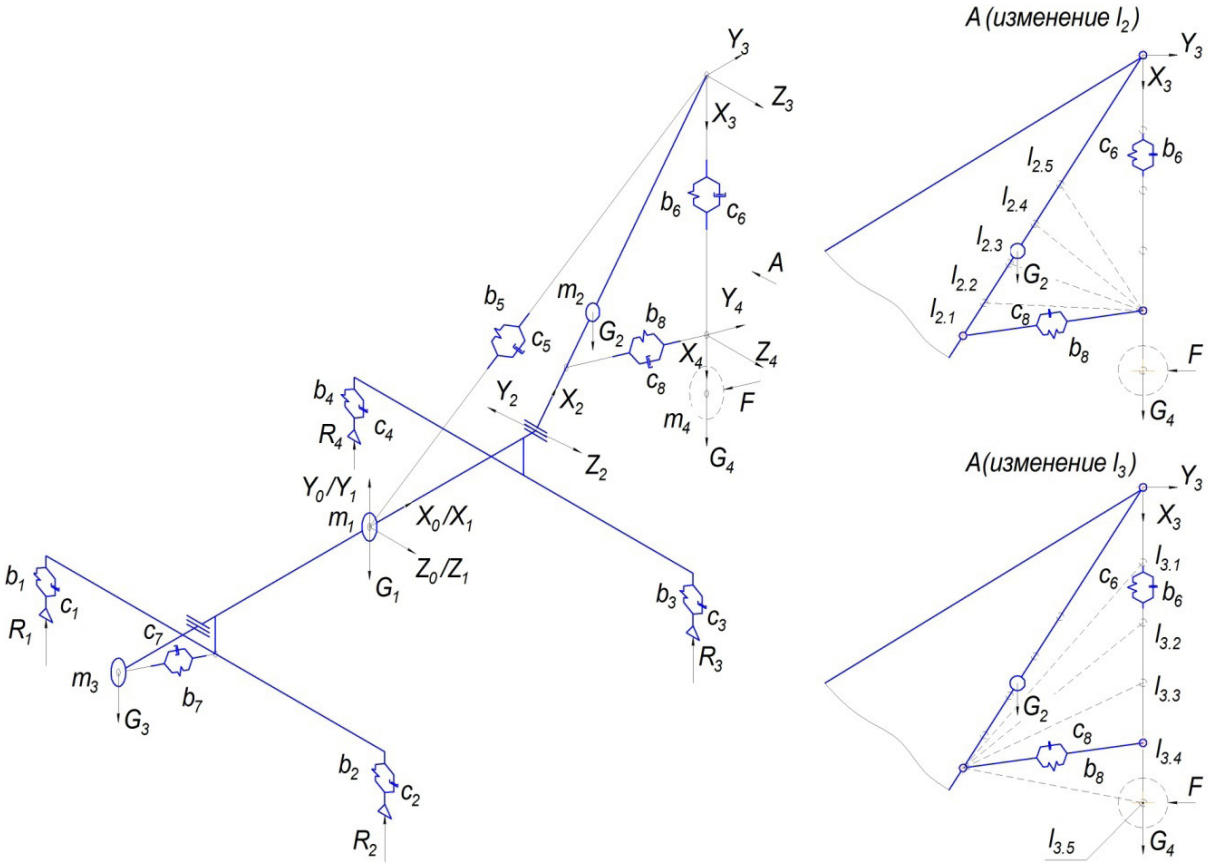



*Рисунок 1 – Расчетная схема крана-трубоукладчика*
*Figure 1 – Design diagram of the pipe-laying crane*

ние силы, действующие на кран-трубоукладчик, являются сосредоточенными, люфты и силы сухого трения в шарнирах отсутствуют [2, 4].

Согласно методу однородных координат [1, 2, 3, 5, 9] были составлены матрицы перехода $A_i$ от локальных систем координат к инерциальной. Получены матрицы скоростей $U_{ij}$. Координаты и скорости точек упруго-вязких тел описываются матрицами соответствующих звеньев, к которым принадлежат тела[11, 12].

Полученные матрицы позволили составить уравнение Лагранжа второго рода в векторно-матричной форме для вынужденных колебаний системы [13, 14].

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{9} tr\left[U_{ij}H_iU_{iv}^T\right]q_j'' + \sum_{u=1}^{8}\sum_{j=1}^{9} tr\left[M_{uj}B_uM_{uv}^T\right]q'_j + \sum_{u=1}^{8}\sum_{j=1}^{9} tr\left[M_{uj}N_uM_{uv}^T\right]q_j + \sum_{i=1}^{4} m_igG^TU_{iv}\vec{R}_i = \vec{F}_rU_{iv}\vec{R}_{ir} \quad (1)$$

где *i*=4 – количество звеньев, *j*=9 – количество степеней свободы, *u*=8 – количество упругих элементов, $U_{ij}$ – матрица скорости *i*-го звена по j-й координате, $H_i$ – матрица инерционности *i*-го элемента, $M_{uj}$ – матрица деформации u-го упругого элемента по j-ой координате, $N_u$ – матрица упругости, $B_u$ – матрица вязкости u-го упругого элемента, $G^T$ – вектор сил тяжести звеньев системы, $\vec{R}_i$ – радиус вектор i-го звена, $m_i$ – масса i-го звена, $M_{uv}^T$ – транспонированная матрица деформации u – упруго-вязкого элемента, $q_j$ – обобщенная координата по степени свободы j, $\vec{F}_r$ – внешняя сила, приложенная к i-му звену расчетной схемы, $U_{iv}$ – матрица скорости i-го элемента, $U_{iv}^T$ – транспонированная матрица скорости i-го элемента, $\vec{R}_{ir}$ – вектор в локальной системе координат звена точки приложения силы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Был проведен анализ влияния координат точек крепления УК на колебательность груза. На рисунке 1 показана схема проведения машинного эксперимента.

Варьируемыми параметрами являлись:

- координата точки крепления УК к стреле $l_2$, по оси $X_2$, локальной системы координат $O_2X_2Y_2Z_2$;
- координата крепления УК к грузовому канату $l_3$, по оси $X_3$, локальной системы координат $O_3X_3Y_3Z_3$;

Значение координат точки крепления УК к стреле варьировалось в диапазоне от 2,3 м до 5,5 м, для точки крепления уравновешивающего каната к грузовому этот диапазон составил от 1,0 м до 4,2 м при фиксированной длине грузового каната 4,2 м. Такие диапазоны продиктованы конструктивными особенностями крана-трубоукладчика и позволяют рассмотреть все возможные варианты крепления уравновешивающего каната. Величина шага в первом и втором случаях составила 0,8 м.

Длина УК в ходе моделирования была переменной и варьировалась исходя из условия натяжения в момент времени t=0. Длина грузового каната 4,2 м, масса груза, сила F не изменялись.

В ходе машинного эксперимента к центру масс груза вдоль оси $O_0X_0$ прикладывался импульс силы F (2 000 Н·с), возбуждающий вынужденные затухающие колебания груза. С целью оценки влияния координат точек крепления УК на колебания груза фиксировалась временная зависимость отклонения груза $l_{гр}$ по оси $X_0$, инерциальной системы координат $O_0X_0Y_0Z_0$.

С полученного графика (рисунок 2) снимались значения двух последовательно идущих отклонений $l_{гр1}$ и $l_{гр2}$, а также установившиеся значение $l_{гр.у}$ и рассчитывалось значение колебательности для данного расчетного случая (2) [21].

$$\mu = \frac{l_{гр2} - l_{гр.у}}{l_{гр1} - l_{гр.у}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

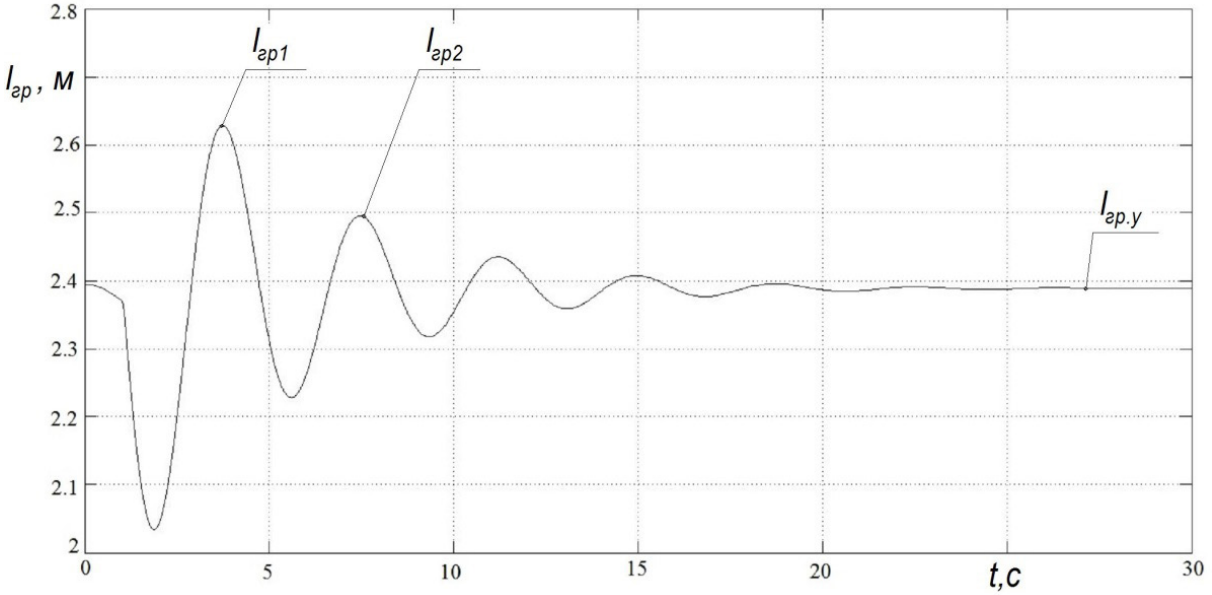



*Рисунок 2 – Временная зависимость отклонения груза по оси $X_0$, угол наклона стрелы $\alpha_2$=70°, координата точки крепления уравновешивающего каната к стреле 3,1м, координата точки крепления к грузовому канату 1,8 м*
*Fig. 2 – Time dependence of the load deviation along the $X_0$ axis, the boom angle $\alpha_2$=70°, the coordinate of the balancing rope attachment point to the boom of 3.1 m, the coordinate of the anchorage point to the load rope 1.8 m*

Исследования проводились для диапазона углов наклона стрелы $\alpha_2$ от 30° до 80° с шагом 10°. Такой диапазон $\alpha_2$ позволяет охватить большинство значений углов наклона стрелы, при которых производятся работы крана-трубоукладчика в колоне. Порядок проведения исследования представлен в таблице 1, где $l_{2.1}$-$l_{2.5}$ координаты точек крепления УК к стреле, $l_{3.1}$-$l_{3.5}$ координаты точек крепления УК к грузовому канату, рисунок 1. В скобках указаны значения в метрах в соответствующей локальной системе координат. По полученным данным были построены поверхности (рисунок 3).

Таблица 1
ПЛАНИРОВАНИЕ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
Table 1
PLANNING OF THE MACHINE EXPERIMENT

| Факторы | $l_{2.1}$(2,3) | $l_{2.2}$(3,1) | $l_{2.3}$(3,9) | $l_{2.4}$(4,7) | $l_{2.5}$(5,5) |
|---|---|---|---|---|---|
| $l_{3.1}$(1,0) | $\mu_{1,1}$ | $\mu_{1,2}$ | $\mu_{1,3}$ | $\mu_{1,4}$ | $\mu_{1,5}$ |
| $l_{3.2}$(1,8) | $\mu_{2,1}$ | $\mu_{2,2}$ | $\mu_{2,3}$ | $\mu_{2,4}$ | $\mu_{2,5}$ |
| $l_{3.3}$(2,6) | $\mu_{3,1}$ | $\mu_{3,2}$ | $\mu_{3,3}$ | $\mu_{3,4}$ | $\mu_{3,5}$ |
| $l_{3.4}$(3,4) | $\mu_{4,1}$ | $\mu_{4,2}$ | $\mu_{4,3}$ | $\mu_{4,4}$ | $\mu_{4,5}$ |
| $l_{3.5}$(4,2) | $\mu_{5,1}$ | $\mu_{5,2}$ | $\mu_{5,3}$ | $\mu_{5,4}$ | $\mu_{5,5}$ |

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из графиков видно, что координаты точек у основания стрелы (2,3;3,1;3,9) и координаты точек на конце грузового каната (3,4;4,2) позволяют добиться наиболее эффективной работы УК, т.к. колебательность в этих случаях равна нулю. Влияние координат точек на конце грузового каната легко объясняется сокращением длины маятника, что будет справедливо для любой длины грузового каната. Вопрос влияния координат точек у основания стрелы требует дополнительных исследований для различных длин грузового каната.

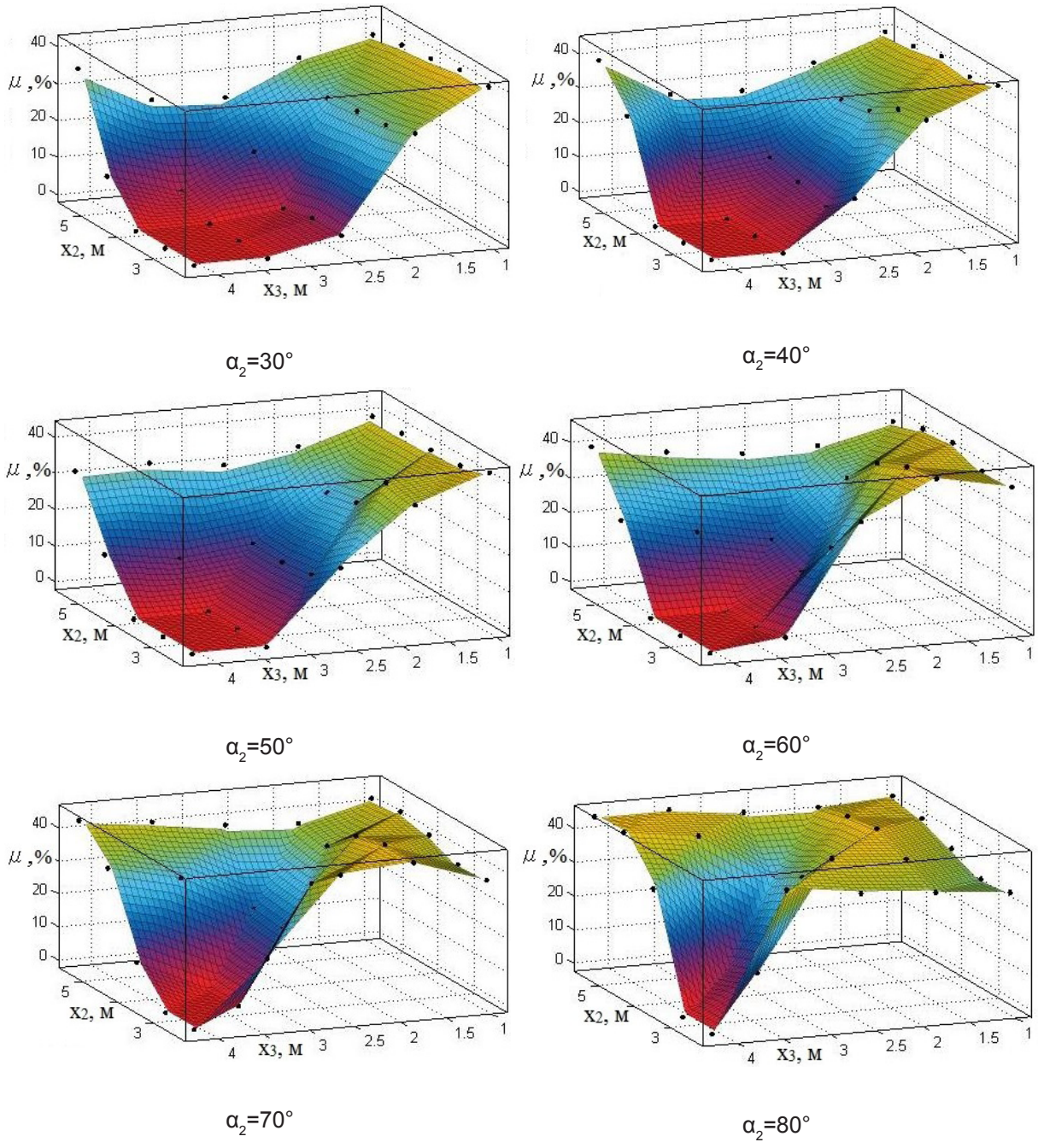



*Рисунок 3 – Зависимость координат точек крепления уравновешивающего каната на колебательность груза для диапазона $\alpha_2$ от 30° до 80°*

*Figure 3 – Coordinates' dependence of the balancing rope attachment points on the oscillation of the load, for the range $\alpha_2$ from 30° to 80° range*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С., Корытов М.С., Котькин С.В. Система автоматизации моделирования стреловых грузоподъемных кранов. Омск: СибАДИ, 2012. 143 с.

2. Щербаков В.С., Шабалин А. Н., Корытов М.С. Методы управления комплектом машин трубоукладочной колонны. Омск: СибАДИ, 2014. 151 с.

3. Щербаков В.С., Сухарев Р.Ю. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора. Омск : СибАДИ, 2011. 149 с.

4. Танский В.В. Влияние координат точки крепления уравновешивающего каната на колебания груза крана-трубоукладчика // Вестник СибАДИ. 2017. выпуск 1 (53). С. 48–53.

5. Автоматизация процесса моделирования траектории движения рабочего органа робота манипулятора/ В.С. Щербаков И.А. Реброва, М.С. Корытов. Омск: СибАДИ, 2009. 106 с.

6. Горбатиков В.А., Соколов С.М., Пальянов П.А. Проектирование обустройства нефтяных месторождений и его научное обоснование// Нефтяное хозяйство. 2005. №9. С. 114–119.

7. Минкин М.А., Потапова О.А. Особенности обустройства нефтяных и газовых месторождений России и основания и фундаменты зданий и сооружений// Вестник Московского государственного строительного университета. 2006. №1. С. 180–187.

8. Попов М.Ю., Осипов С.П. Особенности эксплуатации стреловых кранов и кранов-трубоукладчиков в режиме перемещения с грузом в условиях промыслового бездорожья// Механизация строительства. 2013. № 11 (833). С. 22–25.

9. Система управления краном-трубоукладчиком, исключающая опрокидывание трубоукладочной колонны/ Шабалин А.Н. // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием) «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования», г. Омск. 2012. С. 83–87.

10. Семин Е.Л. Капитальный ремонт магистральных трубопроводов с применением грунтовых и инвентарных опор// Трубопроводный транспорт: теория и практика. №4(26). 2011. С. 25–27.

11. Щербаков В.С., Милюшенко С.А. Совершенствование системы управления выглаживающей плитой асфальтоукладчика. Омск : СибАДИ, 2010. 161 с.

12. Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины. Омск : СибАДИ, 2011. 119 с.

13. Стабилизация несущей платформы в горизонтальной плоскости/ В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Ю. Архипенко, Н.А. Камуз // Строительные и дорожные машины. 2013. №2. С. 36—40.

14. Методика проверки положения грузоподъемного крана в пространстве конфигураций по ограничению на устойчивость / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, Н.А. Камуз // Материалы 66-й Междунар. науч.-практ. конф. «Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России», г. Омск, 2012. С. 408 – 412.

15. Кран-трубоукладчик: пат. 131 371 Российская Федерация, МПК B66C23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 2013115403/11. 2 с.

16. Кран-трубоукладчик: пат. 140 144 Российская Федерация, МПК B66C23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 2013155120/11. 2 с.

17. Кран-трубоукладчик: пат. 146 007 Российская Федерация, МПК B66C23/88./ Щербаков В.С., Корытов М. С., Шабалин А.Н. № 2014117386/11. 2 с.

18. Кран-трубоукладчик: пат. 140 492 Российская Федерация, МПК B66C23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 2013155099/11. 2 с.

19. Кран-трубоукладчик: пат. 158 094 Российская Федерация, МПК B66C23/26./ Щербаков В.С., Корытов М. С., Танский В.В. № 2015120191/11. 2 с.

20. Кран-трубоукладчик: пат. 158 181 Российская Федерация, МПК B66C23/26./ Щербаков В.С., Танский В.В. № 2015120193/11. 2 с.

21. Щербаков В.С., Лазута И.В. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы. Омск: СибАДИ, 2013. 143 с.

22. Танский В.В. Обоснование расчетной схемы крана-трубоукладчика //Техника и технологии строительства. 2017. выпуск 4 (8). С. 54–60.

# INFLUENCE ANALYSIS OF THE ATTACHMENT COORDINATES RELATING TO THE CARGO OSCILLATIONS ON THE PIPE LAYING CRANE'S BOOM

***R. Y. Sukharev, V.V. Tanskiy***

## ABSTRACT

**Introduction.** *The work of a crane - a pipe-laying machine in difficult ground conditions has a significant influence on the process of performing the work and the mode of the machine operation. The unevenness of the microrelief is the main reason for the fluctuations in the load, often leading to emergency situations. Therefore, engineering solutions aimed at reducing the negative impact of cargo oscillations on the boom of a crane - a pipe laying - are considered in the article. Moreover, the necessity of a new engineering solution aimed at limiting the amplitude of load oscillations on a crane arm - a pipe laying - is substantiated.*

**Materials and methods.** *The mathematical model is used in the research, where the crane - pipe layer is a hinged articulated link with elastic-viscous bonds superimposed on it. Additionally, the kinematics of the links are described by the method of homogeneous coordinates; the dynamics of the links are described by a system of Lagrange Equations of the 2nd type.*

**Results.** *As a result, the following dependencies are constructed: the oscillation of the load from the coordinates of the attachment of the balancing rope to the boom and the load rope, for a range of boom with angles' range from 30 ° to 80 °. Also the influence of the coordinates of the attachment of the balancing rope to the boom and the load rope on the oscillation of the load is determined for a fixed value of the length of the cargo rope.*

**Discussion and conclusion.** *The estimation of the effect of the coordinates of fastening the balancing rope to the boom and the cargo rope on the oscillation of the load on the boom of the crane - the pipelayer is given.*

**KEYWORDS:** *crane-pipe laying machine, oscillations, cargo, oscillation, balancing rope, design scheme, cargo rope, vibration restriction.*

## REFERENCES

1. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Kotkin S.V. *Sistema avtomatizatsii modelirovaniya strelovykh gruzopod"yemnykh kranov* [The automation system simulation jib cranes]. Omsk, SibADI, 2012. 143 p.

2. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Shabalin A. N. *Metody upravleniya komplektom mashin trubouk ladochnoy kolonny* [A set of management practices of the column pipe-laying machines]. Omsk, SibADI, 2014. 151 p.

3. Sherbakov V.S., Sukharev R.Y. *Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya rabochim organom tsepnogo transheynogo ekskavatora* [Improving governance working body of the chain trencher]. Omsk, SibADI, 2011. 149 p.

4. Tanskiy V.V. Vliyaniye koordinat tochki krepleniya uravnoveshivayushchego kanata na kolebaniya gruza krana – trubouk ladchika [Effect reference point mount counterbalancing ropes wavering cargo pipe-laying crane]. *Vestnik SibADI*, 2017, no. 1 (53), pp. 48-53.

5. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Rebrova I.A. *Avtomatizatsiya protsessa modelirovaniya trayektorii dvizheniya rabochego organa robota manipulyatora* [Automation simulation trajectory of the working body of the robot manipulator]. Omsk, SibADI, 2009. 106 p.

6. Gorbatikov V.A. Proyektirovaniye obustroystva neftyanykh mestorozhdeniy i yego nauchnoye obosnovaniye [Designing the arrangement of oil fields and its scientific justification]. *Neftyanoye khozyaystvo* – Oil Industry, 2005, no. 9, pp. 114-119.

7. Minkin M.A., Potapov O.A. [Features of the arrangement of oil and gas fields in Russia and the foundations and foundations of buildings and structures]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta* - Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering, 2006, no. 1, pp. 180-187.

8. Popov M.Y., Osipov S.P. Osobennosti ekspluatatsii strelovykh kranov i kranov-trubouk ladchikov v rezhime peremeshcheniya s gruzom v usloviyakh promyslovogo bezdorozh'ya [Features of operation of jib cranes and pipe-laying cranes in the mode of moving with cargo in off-road fishing conditions]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* - Mechanization of construction, 2013, no. 11(833), pp. 22-25.

9. Shabalin A. N. Sistema upravleniya kranom - trubouk ladchikom isklyuchayushchaya oprokidyvaniye trubouk ladochnoy kolonny [The control system of the crane - the pipe laying device, which excludes the overturning of the pipe-laying column]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii FGBOU VPO «SibADI»* «*Razvitiye dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noy infrastruktury na osnove ratsional'nogo prirodopol'zovaniya"* [Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference "SibADI" "The development of the road transport complex and the construction infrastructure on the basis of rational nature management"]. 2012. pp. 83-87.

10. Semin E.L. Kapital'nyy remont magistral'nykh truboprovodov s primeneniyem gruntovykh i inventarnykh opor [Overhaul of main pipelines using ground and inventory supports. Pipeline transport: theory and practice]. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 2011, no. 4 (26). pp. 25-27.

11. Sherbakov V.S., Milyshenko S.A. *Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya vyglazhivayushchey plitoy asfal'touk ladchika* [Improving governance screed paver]. Omsk, SibADI, 2010, 161 p.

12. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Grigorev M.G. *Avtomatizatsiya proyektirovaniya ustroystv upravleniya polozheniyem platformy stroitel'noy mashiny* [Design automation controls the position of a construction machine platform]. Omsk, SibADI, 2011. 119 p.

13. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Arkhipenko M.Y., Kamuz N.A. *Stabilizatsiya nesushchey platformy v gorizontal'noy ploskosti* [Stabilization of the support base horizontally]. Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny - Building and road machines, 2013, no. 2, pp. 36-40.

14. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Kamuz N.A. Metodika proverki polozheniya gruzopod"yemnogo krana v prostranstve konfiguratsiy po ogranicheniyu na ustoychivost' [Methods of checking the position of the crane in the configuration space to limit the stability]. *Materialy 66-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Oriyentirovannyye fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya - osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii*", 2012, no. 66, pp. 408-412.

15. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013115403/11, 2013.

16. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013155120/11, 2014.

17. Sherbakov V.S., Shabalin A. N., Koritov M.S. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2014117386/11, 2014.

18. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013155099/11, 2014.

19. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Tanskiy V.V. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2015120191/11, 2015.

20. Sherbakov V.S., Tanskiy V.V. *Kran – trubouk ladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2015120193/11, 2015.

21. Sherbakov V.S., Lazuta I.V. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Lineynyye nepreryvnyye sistemy* [Theory of automatic control. Linear continuous systems]. Omsk, SibADI, 2013. 143 p.

22. Tanskiy V. V. Obosnovaniye raschetnoy skhemy krana-trubouk ladchika [Justification of the design scheme of the pipe-laying crane] *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva*, 2017, no 4 (8), pp. 54-60.

***Поступила 21.02.2018 принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сухарев Роман Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Автоматизация производственных процессов и электротехника», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5, e-mail: suharev_ry@sibadi.org).*

*Sukharev, Roman, Yurievich, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department "Automation of Production Processes and Electrical Engineering", SibADI (644080, Omsk; 5, Mira Ave., e-mail: suharev_ry@sibadi.org).*

*Танский Вячеслав Владимирович – кафедра «Механика», инженер, ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5, e-mail: s1ava8968@gmail.com).*

*Tanskiy Vyacheslav Vladimirovich, engineer of the Department "Mechanics", SibADI (644080, Omsk; 5, Mira Ave., e-mail: s1ava8968@gmail.com).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Танский В.В. проведен анализ вопроса, обоснова-на расчетная схема, составлены уравнение Лагранжа второго рода в векторно-матричной форме для вынужденных колебаний системы, исследование колебательности груза от координат крепления уравновешивающего каната к стреле и грузовому канату, для диапазона углов наклона стрелы от 30° до 50°.*

*Сухарев Р.Ю. Исследование колебательности груза от координат крепления уравновешивающего каната к стреле и грузовому канату, для диапазона углов наклона стрелы от 60° до 80°. заключение.*

УДК 625.76.08: 620.16

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ

***С.И. Цехош***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Статья посвящена актуальной проблеме увеличения эксплуатационного ресурса щеточного рабочего оборудования и повышения качества уборки. В работе рассмотрены факторы, влияющие на интенсивность износа щеточного рабочего органа и соответственно на экономические потери.*

***Методы и материалы.*** *Для представления связей между подсистемами, участвующими в рабочем процессе, была разработана блок-схема рабочего процесса коммунальной машины, включающая базовую машину, рабочее оборудование, ходовое оборудование, гидропривод, дорожное покрытие, которое отражает влияние неровностей микрорельефа на вертикальную координату рабочего органа. Представлена математическая модель процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием. Моделирование осуществлялось при помощи программного продукта MATLAB, расширение Simulink. Неровности микрорельефа дорожного полотна описаны рекуррентными уравнениями, задаются корреляционные функции случайного процесса.*

***Результаты.*** *В результате моделирования были установлены статические и динамические зависимости перемещения передней и задней оси базовой машины, перемещения центра оси щеточного рабочего органа от изменения координат микрорельефа. Результаты эксперимента подтвердили адекватность математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием.*

***Обсуждение и заключение.*** *Сделан вывод о том, что вследствие изменения вертикальной координаты дорожного полотна происходит изменение давления на щетку, что приводит к изменению силы трения ворса о дорожное полотно. При наезде щеткой на препятствия износ щетки увеличивается. При отрицательном изменении вертикальной координаты полотна происходит снижение качества уборки. Гидравлическая система управления коммунальной машины предназначена для регулирования положения в вертикальной плоскости рабочего органа относительно дорожного полотна и обеспечения оптимального значения прижимной силы, что позволяет повысить надежность и эксплуатационный срок службы щетки.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *щеточный рабочий орган, ходовое оборудование, взаимодействие с микрорельефом, коммунальная машина, ступенчатая неровность, износ.*

## ВВЕДЕНИЕ

При дорожно-уборочных работах движение коммунальных машин по рельефу дороги протекает под воздействием многочисленных и разнообразных внешних факторов, влияющих на рабочий процесс: неровности опорных поверхностей, загрязненность поверхности.

Неровность опорных поверхностей является основным источником непрерывных колебаний машины, амплитуды и ускорения которых достигают значительных величин. При проектировании и проведение испытаний коммунальных машин необходимо располагать характеристиками опорных поверхностей.

Перечисленные факторы оказывают негативное влияние на процесс работы рабочего органа, снижают работоспособность техники и, как следствие, могут стать причиной значительных экономических потерь.

Актуальность проблемы обусловлена неуправляемым перемещением рабочего органа из-за воздействий рельефа дорожного полотна.

Целью данной статьи является подтверждение адекватности математической модели коммунальной машины.

Задачи исследования:

1. Изучить процесс неуправляемого перемещения рабочего органа при изменении неровностей микрорельефа.

2. Построить графики переходных процессов характерных точек базовой машины и рабочего органа при наезде передними и задними колесами на ступенчатую неровность.

3. Провести сравнительный анализ экспериментальных и теоретических переходных процессов, подтвердить адекватность математической модели.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для представления связей между подсистемами машины, участвующими в рабочем процессе коммунальной машины, была составлена блок-схема рабочего процесса (рисунок 1).

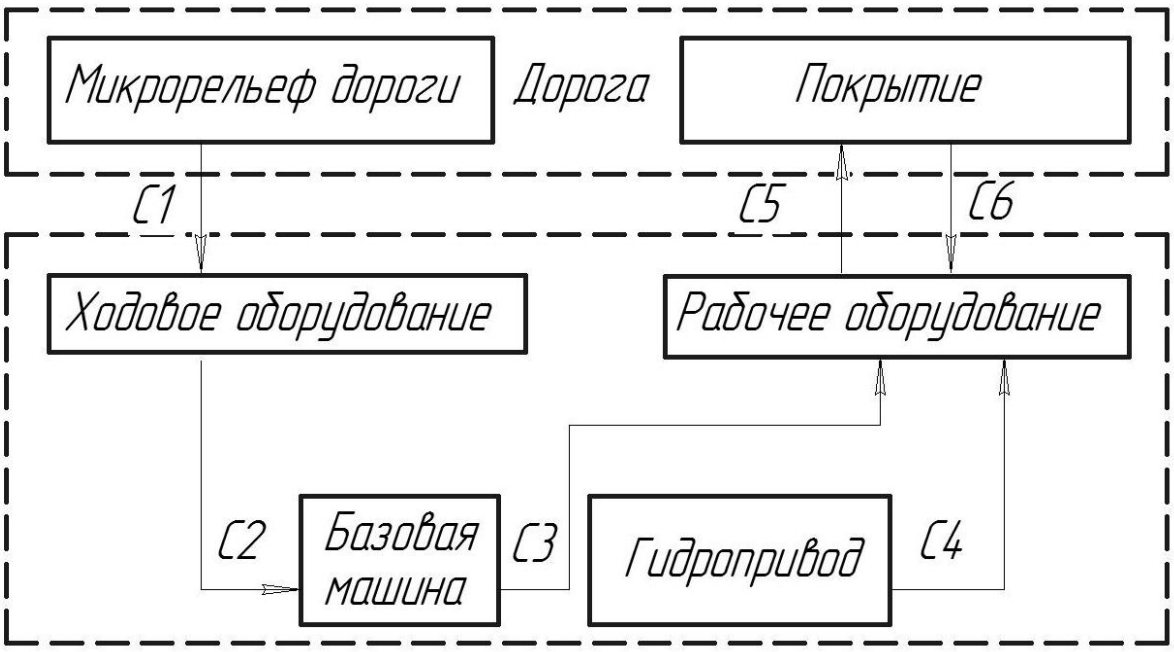



*Рисунок 1 – Блок-схема рабочего процесса коммунальной машины*
*Figure 1 – Block diagram of the communal machine's working process*

Подсистема ходового оборудования, воспринимая возмущающие воздействия со стороны микрорельефа дороги С1, в свою очередь воздействует на раму базовой машины С2. Далее воздействие передается на рабочее оборудование С3. Рабочее оборудование изменяет свое положение в пространстве – изменяется сила прижима С5. Дорожное покрытие С6 в зависимости от вида покрытия и параметров конструкции коммунальной щетки влияет на изгиб ворса щеточного рабочего органа. Ниже представлена структурная схема системы управления гидропривода коммунальной машины (Рисунок 2).

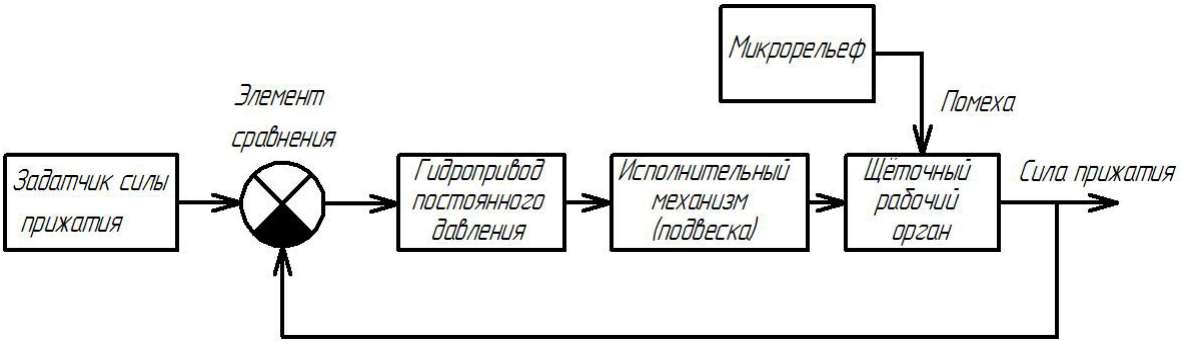



*Рисунок 2 – Структурная схема системы управления*
*Figure 2 – Block diagram of the control system*

Математическая модель процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием была описана ниже представленными уравнениями 1,2,3 [1,2,3].

$$Y_{РО} = (1- K_б)\ Y_П + K_б \cdot Y_З; \quad (1)$$

$$Y_З = Y_П (t - \tau_L)\ K_б \cdot Y_З, \quad (2)$$

где $Y_{РО}$ – вертикальная координата рабочего органа; $K_б$ – коэффициент базы; $Y_П$ – вертикальная координата передней оси; $Y_З$ – вертикальная координата задней оси; $\tau_L$ – время запаздывания.

$$\tau_L = \frac{L}{V}, \quad (3)$$

где $\tau_L$ – время запаздывания; $L$ – длина базы; V – поступательная скорость машины,

$W_s = \frac{1}{s^2 + 1{,}5s + 1}$ – передаточная функция колеса.

Микрорельеф, описанный корреляционной функцией случайного процесса, с достаточной степенью точности аппроксимируется функциональной зависимостью [4]:

$$R_q(X_s) = A_1 e^{-\alpha_1 |x_s|} + A_2 e^{-\alpha_2 |x_s|} \cdot \cos(\beta_{q_0} \cdot X_s), \quad (4)$$

где $R_q(X_s)$ – нормированная корреляционная функция микрорельефа, для которой при $X_s = 0,\ A_1 + A_2 = 1$; $\alpha_1$ и $\alpha_2$ – коэффициенты, характеризующие затухание корреляции микрорельефа; $\beta_{q0}$ – коэффициент, характеризующий периодическую составляющую микрорельефа. В качестве исходных данных микрорельефа был выбран тип цементобетонного покрытия.

Для формирования модели на ЭВМ стохастического процесса используют рекуррентные уравнения [4,5]:

$$Z(l_{мк}) = a_0 \cdot x(n) + a_1 \cdot x(n-1) + d_1 \cdot z(n-1) + d_2 \cdot z(n-2); \quad (5)$$

$$a_0 = \sigma \cdot C; \quad (6)$$

$$a_1 = \sigma \cdot \frac{C_0}{C}; \quad (7)$$

$$d_1 = 2 \cdot \rho \cdot \cos \gamma_0; \quad (8)$$

$$d_2 = -p^2; \quad (9)$$

$$C_0 = \rho \cdot (\rho^2 - 1) \cos \gamma_0; \quad (10)$$

$$C_1 = 1 - \rho^4; \quad (11)$$

$$\rho = e^{-\gamma}; \quad (12)$$

$$\gamma = \alpha \cdot n; \quad (13)$$

$$C = \sqrt{C_1 \pm \sqrt{\frac{C_1^2 - 4 \cdot C_0^2}{2}}}; \quad (14)$$

$$\gamma_0 = \beta \cdot n. \quad (15)$$

Микрорельеф описан статически. Статические характеристики взяты из предшествующих источников [6]. В литературе приведены усредненные значения параметров статических функций.

На рисунке 3 представлена в изображениях simulink структурная схема математической модели процесса взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием, которая позволила получить результаты, представленные в качестве примера на графиках (рисунки 3,4,5) [7,8,9,10,11,12]. На рисунках 4 а, б показаны перемещения передней и задней оси в вертикальной плоскости трактора МТЗ-82.1. Рисунок 4 в показывает перемещение рабочего оборудования (щетки).

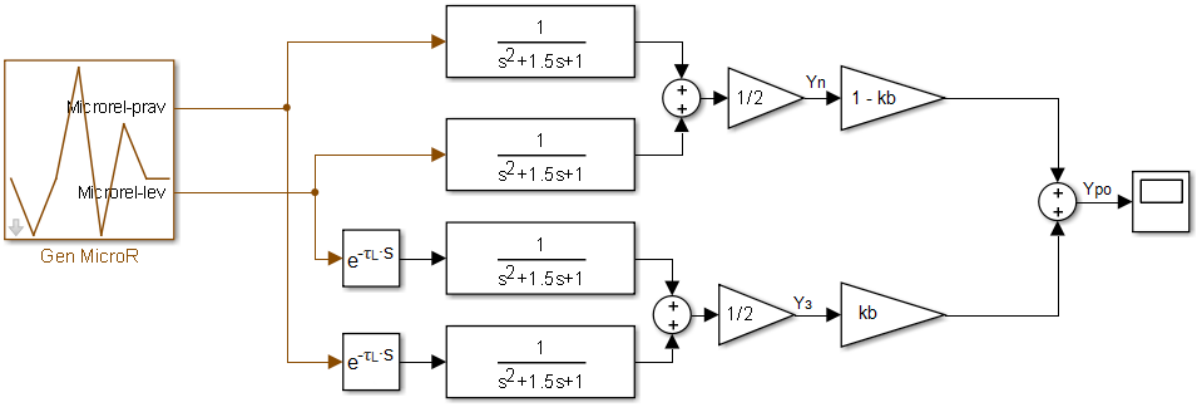
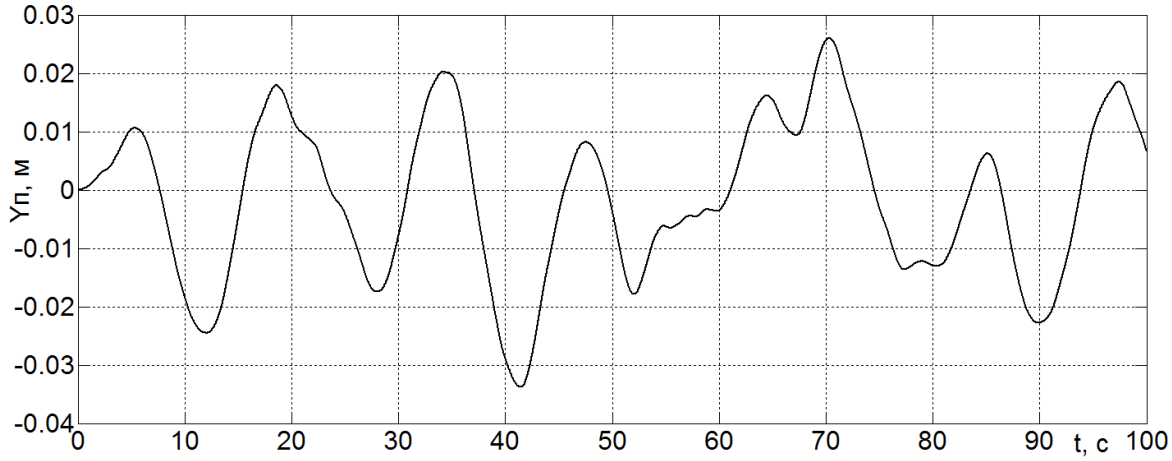
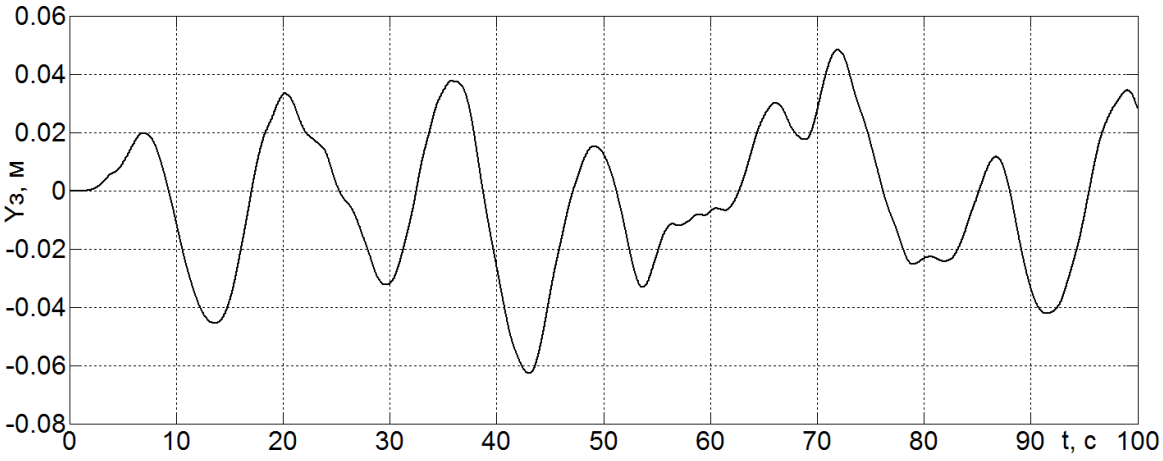


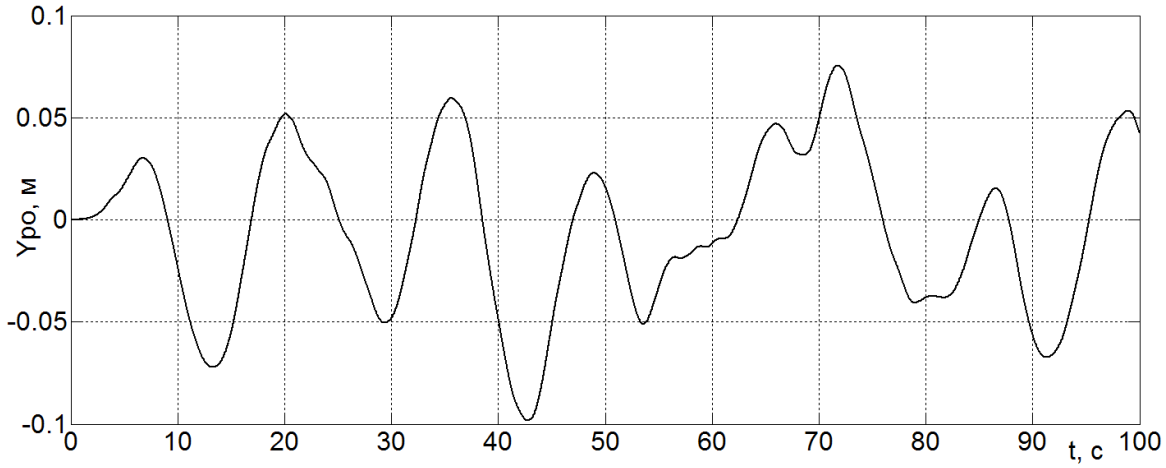

*Рисунок 3 – Структурная схема математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым оборудованием*
*Figure 3 – Structural diagram of mathematical model of the microrelief's interaction with running equipment*




а




б




в

*Рисунок 4 – Результаты моделирования:*
*а – перемещение передней оси базовой машины; б – перемещение задней оси базовой машины; в – перемещение центра оси щеточного рабочего органа.*
*Figure 4 – Simulation results: a - moving the front axle of the base machine; b - moving the rear axle of the base machine; c - displacement of the axle's center of the brush body.*

Математическая модель взаимодействия микрорельефа с колесным двигателем и рабочим оборудованием позволила получить результаты расчетов, приведенных на рисунках 5,6.

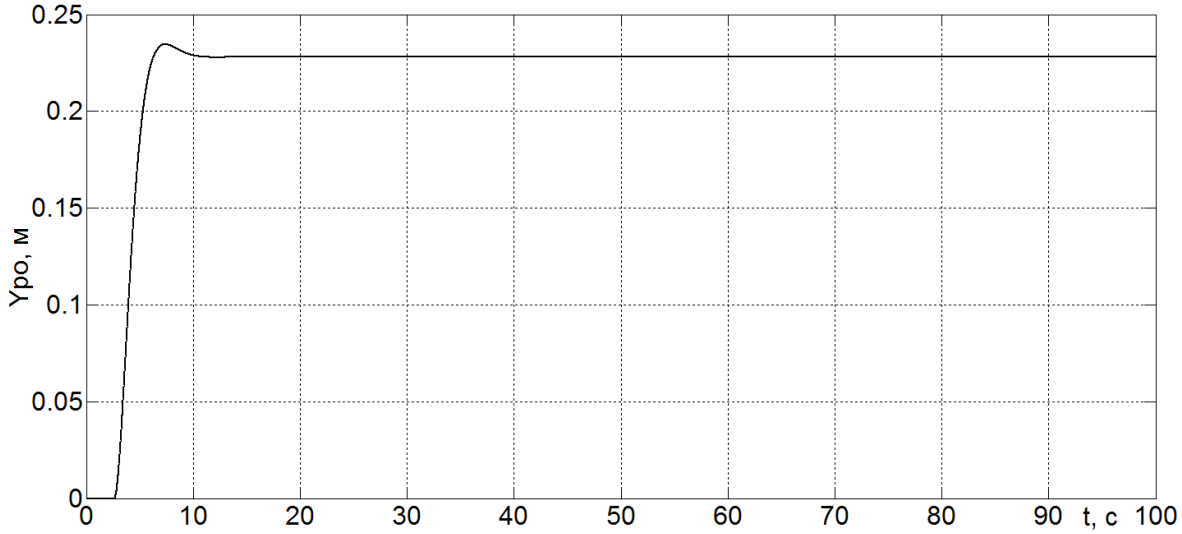



*Рисунок 5 – Наезд задними колесами на единичную ступенчатую неровность*
*Figure 5 – Acceleration by rear wheels on a single stepped unevenness*

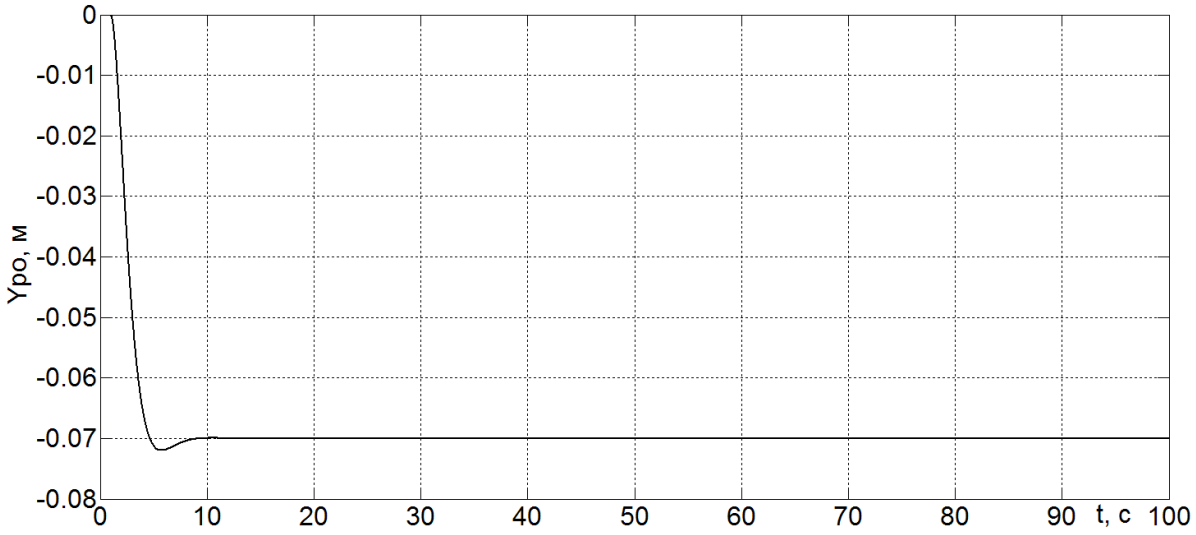



*Рисунок 6 – Наезд передними колесами на единичную ступенчатую неровность*
*Figure 6 – Acceleration by front wheels on a single stepped unevenness*

Полученный результат был подтвержден экспериментально, данные сведены в таблицу 1.

Эксперимент осуществлялся как в статике, так и в динамике [13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24]. Перед началом эксперимента были сняты опорные катки с щетки трактора МТЗ-82.1. Для подтверждения построенной математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием был проведён эксперимент: подсистема микрорельеф – базовая машина. На поверхности была сформирована единичная ступенчатая неровность, по которой осуществлялся наезд и съезд, что позволило измерить в статике и снять на видео в динамике процесс наезда и съезда машины. На ось щетки был прикреплен репер, который перемещался на фоне разлинованного планшета.

В качестве контрольных точек бралась точка подвеса рабочего оборудования и ось щеточного оборудования. Были сняты переходные процессы и статические характеристики [25,26]. Для проведения эксперимента применялись следующие приборы: ступенчатая неровность, разлинованный планшет, репер, индикатор часового типа, видеокамера.

Ход эксперимента:

В статике

После наезда на неровность и съезда с неровности измерялись вертикальные координаты осей колес и рабочего органа.

Таблица 1
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Table 1
MEASUREMENTS' RESULTS OF MOVEMENT OF THE RUNNING EQUIPMENT ELEMENTS

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Переднее колесо | Высота оси ходового оборудования (без препятствия), см | | Высота оси ходового оборудования (с препятствием), см | | Высота оси рабочего оборудования (без наезда), см | | Высота оси рабочего оборудования (при наезде), см | |
| | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо |
| | 45 | 46 | 59 | 59 | 26 | 24 | 19 | 17 |
| Заднее колесо | Высота оси ходового оборудования (без препятствия), см | | Высота оси ходового оборудования (с препятствием), см | | Высота оси рабочего оборудования (без наезда), см | | Высота оси рабочего оборудования (при наезде), см | |
| | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо | левое колесо | правое колесо |
| | 71 | 70 | 85 | 83 | 26 | 24 | 49 | 46 |

В динамике

1) На ось щетки был прикреплен репер, который перемещался на фоне планшета. Опорные катки щетки сняты.

2) На фоне планшета осуществлялся наезд передними колесами трактора на ступенчатую неровность, в этот момент снимался на видеокамеру переходный процесс перемещения оси щетки.

3) Осуществлялся съезд передних колес машины с неровности.

4) Наезд задними колесами на ступенчатую неровность, фиксировалось вертикальное перемещение щетки.

5) Осуществлялся съезд задних колёс машины с неровности.

На экспериментальной площадке (Рисунок 7) выполнялся первый этап эксперимента, были осуществлены наезды передними и задними колесами трактора на неровность (ступенька выстой 150 мм), при этом осуществлялась съёмка изменения положения оси щетки на фоне планшета, динамический процесс деформации ворса щеточного органа, его вдавливание в поверхность.

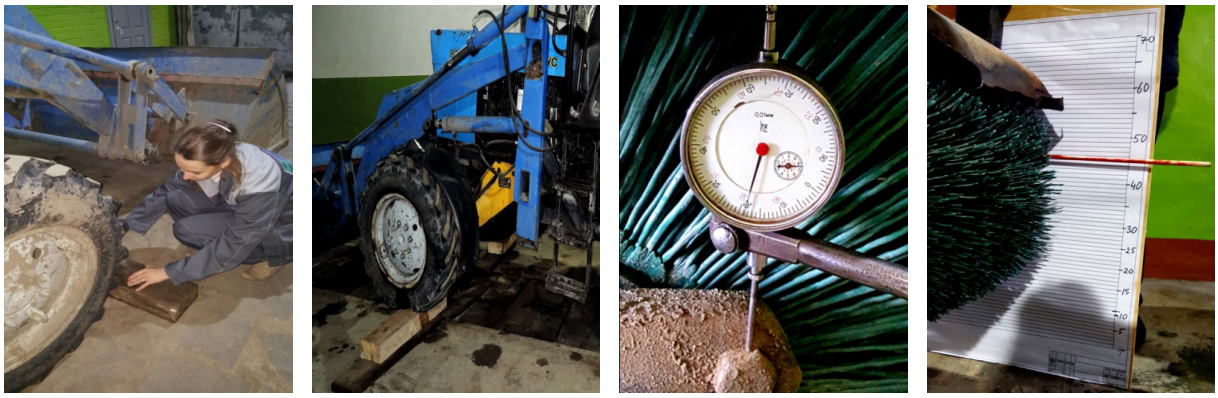
## РЕЗУЛЬТАТЫ

При наезде трактора передними колесами на ступенчатую неровность было зафиксировано опускание щетки как с левой, так и с правой стороны на 70 мм.

При наезде трактора задними колесами на ступенчатую неровность центр задней оси поднимался на 135 мм. При наезде трактора задним колесом на ступеньку был зафиксирован подъем щетки левой стороной на 230 мм, а правой стороной на 220 мм (таблица 2).

Таблица 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОСЕЙ ТРАКТОРА И ЩЕТКИ
Table 2
MEASUREMENTS' RESULTS OF THE TRACTOR AND THE BRUSH AXES' DISPLACEMENT

| Наезд задними колесами, мм | Левое колесо | Правое колесо | Среднее значение |
|---|---|---|---|
| перемещение задней оси, мм | 140 | 130 | 135 |
| перемещение щетки, мм | 230 | 220 | 225 |
| Наезд передними колесами, мм | Левое колесо | Правое колесо | Среднее значение |
| перемещение передней оси, мм | 155 | 145 | 150 |
| перемещение щетки, мм | 70 | 70 | 70 |



а б в г

*Рисунок 7 – Экспериментальная площадка:*
*а – установка ступенчатой неровности перед передними колесами трактора МТЗ-82.1,*
*б – наезд передними колёсами на препятствие, в – измерение деформации щеточного ворса при помощи часового индикатора, г – перемещение прикрепленного репера, на фоне разлинованного планшета*
*Figure 7 – Experimental platform:*
*a – installation of a stepped unevenness in front of the front wheels of the tractor MTZ-82.1,*
*b – acceleration by the front wheels on the obstacle, c – measuring of the brush nape deformation with the help of the hour indicator, d – moving the attached frame against flattened tablet*

Новизна заключается в математической модели, выявленных зависимостях перемещения элементов машины при различных видах неровностей под элементами ходового оборудования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе сравнения экспериментальных данных и полученных на математической модели установлено, что расхождения менее 10%. Полученные результаты позволили подтвердить адекватность математической модели взаимодействия микрорельефа с ходовым и рабочим оборудованием.

Вследствие изменения вертикальной координаты дорожного полотна происходит изменение давления на щетку, что приводит к изменению силы трения ворса о дорожное полотно. При наезде щеткой на препятствие износ щетки увеличивается, при отрицательном изменении вертикальной координаты полотна происходит снижение качества уборки.

Гидравлическая система управления коммунальной машины предназначена для регулирования положения в вертикальной плоскости рабочего органа относительно дорожного полотна и обеспечения оптимальной прижимной силы, что позволяет повысить надежность и эксплуатационный срок службы щетки [27]. Этот вывод носит характер гипотезы, суть которой заключается в том, что увеличение силы прижатия щетки приведет к ускоренному износу ворса щетки. Окончательно правомерность этого вывода будет подтверждена в результате эксплуатационных испытаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Беляев В.В. Система автоматизации эскизного проектирования автогрейдера: монография / В.С. Щербаков, Н.В. Беляев, В.В. Беляев. Омск: СибАДИ, 2009. 133 с.

2. Щербаков В.С., Беляев Н.В., Скуба П.Ю., Автоматизация проектирования планировочных машин на базе колесных тракторов: монография / В.С. Щербаков, Н.В. Беляев, П.Ю. Скуба. Омск: СибАДИ, 2013. 125 с.

3. Щербаков В.С., Руппель А.А., Лазута И.В., Милюшенко С.А. Моделирование землеройно-транспортных машин в среде MATLAB-SIMULINK: методические указания к выполнению лабораторных работ / В.С. Щербаков., А.А. Руппель, И.В. Лазута, С.А. Милюшенко. Омск: СибАДИ, 2010. 41 с.

4. Харченко М.А., Корреляционный анализ: учебное пособие для вузов / М.А. Харченко. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 31 с.

5. Ершов В.И., Барахтанов Л.В., Вероятностные характеристики микропрофиля пересеченной местности / В.И. Ершов, Л.В. Барахтанов. М: Машиностроение. 1971. №4. 117–119 с.

6. Афанасьев В.Л. Статические характеристики микропрофилей автомобильных дорог и колебаний автомобиля / В.Л. Афанасьев, А.А. Хачарутов. Автомобильная промышленность. 1996. № 2. 21-23 с.

7. Щербаков В.С., Руппель А.А., Глушец В.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электрических систем в среде MATLAB Simulink: учебное пособие / В.С. Щербаков, А.А. Руппель, В.А. Глушец. Омск: СибАДИ, 2003. 160 с.

8. Щербаков В.С., Руппель А.А., Основы моделирования систем автоматического регулирования и электрических систем в среде MATLAB, Simulink: учебное пособие / В.С. Щербаков, А.А. Руппель. Омск: Изд-во РИО Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 2006. 168 с.

9. Щербаков В.С., Составление структурных схем землеройно-транспортных машин как объектов автоматизации: учебное пособие / В.С. Щербаков. Омск: СибАДИ, 2001. 47 с.

10. Корчагин П.А. Математическая модель динамической системы // Вестник СибАДИ. №4. 2013. С. 91–95.

11. Корчагин П.А. Математическая модель сложной динамической системы «возмущающие воздействия - машина- оператор» / Корчагин П.А., Тетерина И.А. // Вестник СибАДИ. №5. 2015. С. 118–123.

12. Тетерина И.А. Модель процесса взаимодействия элементов ходового оборудования дорожной уборочно-подметальной машины с неровностями микрорельефа / И.А. Тетерина, А.Б. Летопольский // Наука сегодня: задачи и пути их решения: Международная научно-практическая конференция. Вологда: Маркер, 2016. С. 37–38.

13. Адлер Ю.П., Введение в планирование эксперимента: учебное пособие / Ю.П. Адлер. М: Металлургия, 1968. 155 с.

14. Адлер Ю.П., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1971. 247 с.

15. Баловнев В.И. Обработка и планирование эксперимента при исследовании дорожных машин: учебное пособие / В.И. Баловнев, Ю.В. Завадский, В.Ю. Мануйлов М.: МАДИ, 1983. 59 с.

16. Ермаков С.М., Бродский В.З., Жиглявский А.А. Математическая теория планирования эксперимента: учебное пособие / С.М. Ермаков, В.З. Бродский, А.А. Жиглявский. М.: Физматлит, 1983. 392 с.

17. Любченко Е.А., Планирование и организация эксперимента: учебное пособие/ Е.А. Любченко, О.А. Чуднова. Владивосток: Издательство ТГЭУ, 2010. 156 с.

18. Налимов В.В., Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 260 с.

19. Останин А.Н., Тюленев В.П., Романов А.В., Петровский А.А., Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента: учебное пособие / А.Н. Останин, В.П. Тюленев, А.В. Романов, А.А. Петровский. Минск: Вышэйшая школа, 1989. 218 с.

20. Паненко В.В., Математические методы планирования эксперимента: сборник трудов / В.В. Паненко. Новосибирск: Наука, 1981. 257 с.

21. Спирин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 257 с.

22. Корчагин П.А., Реброва И.А., Тетерина И.А. Определение параметров, влияющих на функционирование системы виброзащиты оператора дорожной уборочно-подметальной машины // Известия ТулГУ. Технические науки. №3. 2016. С. 249–255.

23. Тетерина И.А. Модель взаимодействия ЩРО с обрабатываемой поверхностью / И.А. Тетерина, А.Б. Летопольский // Наука XXI века: открытия, инновации, технологии: Международная научно-практическая заочная

конференция. – Смоленск: НОВОЛЕНСО, 2016. С. 73–75.

24. Корчагин П.А. Динамическое воздействие на оператора одноковшового экскаватора Текст. / П.А. Корчагин // Строительные и дорожные машины. 2007. №2. С. 36–37.

25. Джонсон Н., Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф.Лион. М: Мир, 1980. 595 с.

26. Реброва И.А., Планирование эксперимента: учебное пособие / И.А. Реброва. Омск: СибАДИ, 2010. 106 с.

27. Алексеева Т.В., Математическое моделирование элементов гидроприводов строительных и дорожных машин: методические указания/ Т.В.Алексеева, В.С.Щербаков, Б.П.Воловиков. Омск: СибАДИ, 1986. 34 с.

# IMPROVEMENT OF THE MUNICIPAL MACHINE'S CONTROLLING SYSTEM

***S.I. Zachos***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The article is devoted to the urgent problem of increasing the operational resource of brushing working equipment and improving the quality of cleaning. The research considers factors which could affect the intensity of the brush working element wearout and, accordingly, the economic losses.*
***Materials and methods.*** *To represent the connections between the subsystems participating in the working process, the block diagram of the communal machine's working process is developed,which include the following components : base machine, working equipment, running gear, hydraulic drive, road surface, so this diagram reflects the influence of the microrelief unevenness on the vertical coordinate of the working machine body. In addition, the mathematical model of the interaction process of the microrelief with running and working equipment is presented. Simulation is carried out with the help of the software product MATLAB with the Simulink extension. The unevenness of the microrelief of the roadway is described by recurrent equations, also the correlation functions of the random process are specified.*
***Results.*** *As a result of the simulation, static and dynamic dependencies of the front and rear axes movement of the base machine, the displacement of the brush body's axis center from the changing coordinates of the microrelief are established. Similarly,the results of the experiment confirmed the adequacy of the mathematical model of the microrelief's interaction with the running and working equipment are demonstrated in the research.*
***Discussion and conclusion.*** *It is concluded that due to the change in the vertical coordinate of the roadway, the pressure on the brush also changes and leads to the change in the frictional force pile on the roadway. Therefore, when the brush hits different obstacles the wearout of the brush increases. With a negative change in the vertical coordinate of the road, the quality of cleaning process is reduced. As can be seen,the hydraulic control system of the communal machine is designed to regulate the position in the vertical plane of the working machine body due to the road and to ensure the optimum value of the clamping force, which would increase the reliability and service of the brush.*

**KEYWORDS:** *brushwork body, running equipment, interaction with the microrelief, communal machine, stepped irregularity, road wear.*

## REFERENCES

1. Shcherbakov V.S., Belyaev N. In. Belyaev V.V. *Sistema-avtomatizacii-ehskiznogo-proektirovaniya-avtogrejdera* [The System of automation of conceptual design of motor grader]. Omsk, SibADI, 2009. 133 p.

2. Shcherbakov V.S., Belyaev N. In. Scuba P.Yu. *Avtomatizaciya-proektirovaniya-planirovochnyh-mashin-na-baze-kolesnyh-traktorov* [Computer-aided design planning of machines on the basis of wheel tractors]. Omsk, SibADI, 2013. 125 p.

3. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A., Lasota I.V., MalyshenkoS. A. *Modelirovanie-zemlerojno-transportnyh-mashin-v-srede- MATLAB-SIMULINK* [Modeling of earth-moving machines in the MATLAB-SIMULINK]. Omsk, SibADI, 2010. 41 p.

4. Kharchenko, M.A. *Korrelyacionnyj-analiz* [Correlation analysis: a textbook for high schools]. Voronezh,VSU, 2008. 31 p.

5. Ershov V.I., Barakhtanov L.V. Eroyatnostnye-harakteristiki-mikroprofilya-peresechennoj-mestnosti [The Probability characteristics of the white-rough terrain]. Moscow, *Mechanical Engineering,* 1971. pp.117-119

6. Afanas'ev V.L. Staticheskie harakteristiki mikroprofile avtomobil'nyh dorog i kolebanij avtomobilya [Static characteristics of micro roads and automobile vibrations]. *Automotive industry*, 1996, no. 2, pp. 21-23.

7. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A. Glushets V.A. *Osnovy-modelirovaniya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-i-ehlektricheskih-sistem-v-srede-MATLAB-simulink* [The fundamentals of simulation of automatic control systems and electrical systems in MATLAB Simulink]. Omsk, SibADI, 2003. 160 p.

8. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A. *Osnovy-modelirovaniya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-i-ehlektricheskih-sistem-v-srede-matlab-simulink* [Fundamentals of simulation of automatic control systems and electrical systems in MATLAB, Simulink: textbook]. Omsk, RIO Russian correspondence Institute of textile and light industry, 2006. 168 p.

9. Shcherbakov V.S. *Sostavlenie-strukturnyh-skhem-zemlerojno-transportnyh-mashin-kak-obektov-avtomatizacii*

[Preparation of structural schemes of earthmovers as automation objects]. Omsk, SibADI, 2001. 47 p.

10. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' dinamicheskoj sistemy [Mathematical model of dynamical system]. *Vestnik SibADI,* 2013, no. 4, pp. 91-95.

11. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' slozhnoj dinamicheskoj sistemy "vozmushchayushchie vozdejstviya - mashina- operator" [Mathematical model of a complex dynamic system "disturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI,* no. 5, 2015, pp.118-123.

12. Teterina I.A. *Model' processa vzaimodejstviya ehlementov hodovogo oborudovaniya dorozhnoj uborochno-podmetal'noj mashiny s nerovnostyami mikrorel'efa* [Model of the process of interaction between the elements of running equipment of a road sweeper and the unevenness of the microrelief]. Vologda: Marker, 2016. 37-38 p.

13. Adler Yu. P. *Vvedenie-v-planirovanie-ehksperimenta* [Introduction to planning of experiments]. Moscow, Metallurgy, 1968. 155 p.

14. Adler Yu. P. *Planirovanie-ehksperimenta-pri-poiske-optimalnyh-uslovij* [Planning of experiment when searching optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1971. 247 p.

15. Balovnev V.I. *Obrabotka-i-planirovanie-ehksperimenta-pri-issledovanii-dorozhnyh-mashin* [Processing and planning of experiment in the study of road machines]. Moscow, MADI, 1983. 59 p.

16. Yermakov S.M., Brodskiy V.Z., Zhigljavsky A. A. *Matematicheskaya-teoriya-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical theory of experiment planning]. Moscow, Fizmatlit, 1983. 392 p.

17. Lyubchenko, E.A., *Planirovanie-i-organizaciya-ehksperimenta* [Planning and organization of the experiment]. Vladivostok, TGEU, 2010. 156 p.

18. Nalimov V.V. *Teoriya-ehksperimenta* [Theory of experiment].Moscow, Nauka, 1971. 260 p.

19. Ostanin A. N., Tyulenev V.P., Romanov A.V., Petrovsky A.A. *Primenenie-matematicheskih-metodov-i-ehvm-planirovanie-i-obrabotka-rezultatov-ehksperimenta* [Application of mathematical methods and computers. Planning and processing of experiment results]. Minsk, Vysheishaya SHKOLA, 1989. 218 p.

20. Panenko V.V. *Matematicheskie-metody-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical methods of experiment planning]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 257 p.

21. Spirin N.A. Lavrov, V.V. *Metody-planirovaniya-i-obrabotki-rezultatov-inzhenernogo-ehksperimenta* [Methods of planning and processing of results of engineering experiments]. Yekaterinburg, GOU VPO UGTU-UPI, 2004. 257 p.

22. Korchagin P.A., Rebrova I.A., Teterina I.A. Opredelenie parametrov, vliyayushchih na funkcionirovanie sistemy vibrozashchity operatora dorozhnoj uborochno-podmetal'noj mashiny [Determination of the parameters influencing the functioning of the vibration protection system of the road sweeper operator]. *Proceedings of Tula State University. Technical science*, 2016, no.3, pp. 249-255.

23. Teterina I.A. *Model' vzaimodejstviya SHCHRO s obrabatyvaemoj poverhnost'yu* [The model of the interaction of the SSR with the surface being treated]. Smolensk: NOVOLENSO, 2016. pp.73-75.

24. Korchagin P.A. Dinamicheskoe vozdejstvie na operatora odnokovshovogo ehkskavatora [Dynamic impact on the operator of a single bucket excavator]. *Construction and road machines*, 2007, no. 2, pp.36-37.

25. Johnson N. *Statistika-i-planirovanie-ehksperimenta-v-tekhnike-i-nauke* [Statistics and experiment planning in technology and science: methods of data processing]. Moscow, Mir, 1980. 595 p.

26. Rebrov A. I. *Planirovanie-ehksperimenta* [Design of experiments]. Omsk, SibADI, 2010. 106 p.

27. Alekseeva T. V. *Matematicheskoe-modelirovanie-ehlementov-gidroprivodov-stroitelnyh-i-dorozhnyh-mashin* [Mathematical modeling of elements of hydraulic drives of building and road machines]. Omsk, SibADI, 1986. 34 p.

***Поступила 16.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Цехош София Ивановна (Россия, г. Омск) – аспирантка кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО "СибАДИ" (644080 г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: tsehosh.lyubov@yandex.ru).*

*Zachos Sofia Ivanovna (Russia, Omsk) – graduate student of the Department "Automation of Production Processes and Electrical engineering" (644080, Omsk, 5 Mira Ave., e-mail: tsehosh.lyubov@yandex.ru).*

# РАЗДЕЛ II.
# ТРАНСПОРТ

УДК 656.072

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНЫХ И КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОДХОДЫ

***Ю.А. Колебер***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Статья посвящена анализу научных разработок в области информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов. В настоящее время в науке уделяется недостаточное внимание формированию информационной базы по оптимизации городских маршрутных сетей.*

***Материалы и методы.*** *Представлен анализ опыта оптимизации городских маршрутных сетей, на основе которого выявлены современные оптимизационные подходы, на которые должно быть направлено формируемое информационное обеспечение. Отражена типовая исходная информация к процессу оптимизации городских маршрутных сетей в качественных и количественных показателях, используемая проектировщиками маршрутной сети. Наиболее трудоемкой среди исходной информации является матрица пассажирских корреспонденций, методы получения которой на сегодняшний день недостаточно проработаны. Рассмотрены проблемы формирования матрицы пассажирских корреспонденций для крупных и крупнейших городов.*

***Результаты.*** *Обоснована актуальность формирования методики информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов, а в рамках этой методики – разработка методов получения матрицы корреспонденций для крупных и крупнейших городов. Эта матрица должна содержать все виды городских передвижений по их целям, с детализацией корреспонденций с точностью до остановочного пункта и обеспечивать приемлемый уровень погрешности результатов. Выявлены цели и направления для дальнейших исследований в области информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов.*

***Обсуждение и заключения.*** *Результаты исследования могут быть использованы в качестве основы для научных разработок в исследуемой области, которые должны внести значительный вклад в повышение эффективности процесса оптимизации городских маршрутных сетей и качества транспортного обслуживания населения, в частности для крупных и крупнейших городов.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *городская маршрутная сеть, пассажирский транспорт общего пользования, информационное обеспечение, матрица корреспонденций, информационная модель, пассажирский поток, транспортная сеть, остановочный пункт; подвижной состав.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в силу многих сложившихся факторов в сфере пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП) многих российских городов возник ряд существенных проблем, препятствующих развитию городских транспортных систем. Особенно это касается таких категорий городов, как крупные и крупнейшие, что связано в первую очередь с отставанием развития транспортной системы от стремительной динамики всех сфер жизнедеятельности и масштабами пассажирских перевозок в данных городах. Особенно остро стоит проблема оптимизации городских маршрутных сетей (МС). Как правило, эффективность ее решения зависит в т.ч. от полноты и точности исходных данных для решения подобных задач. Однако на сегодняшний день отсутствуют обоснованные подходы к методам получения информации, требующейся для процесса оптимизации МС.

Информационное обеспечение задач по оптимизации МС рассматривается в работах [34, 36, 37, 45]. В то же время в отмеченных работах описывается лишь некий, далеко не полный набор исходных данных, требующийся для проектирования МС.

Цель статьи – обоснование актуальности и обзор современных подходов в области формирования научных и практических разработок по информационному обеспечению задач оптимизации городских МС ПТОП, а также выявление направлений для дальнейших исследований в данной области, которые могут быть полезны в процессе проектирования городских МС ПТОП.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Прежде чем говорить о системном формировании информационной базы по оптимизации МС, необходимо проанализировать подходы и модели, которые применяются для этого процесса.

Разработкой методов оптимизации МС ученые занимаются уже более ста лет. Первые работы по проектированию МС ориентированы главным образом на специфику градостроительного проектирования и планировку городов [1,19,20,31]. В них отсутствует формализованная математическая постановка и четкие рекомендации по проектированию МС, однако именно эти работы явились основой для дальнейшего развития научных разработок в области совершенствования ПТОП.

В начале 60-х гг. XX века в Государственном научно-исследовательском институте автомобильного транспорта (НИИАТ) под руководством Б.Л. Геронимуса была разработана качественно новая «Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов» [8]. Это была первая работа, положившая начало новому этапу в развитии методов оптимизации МС. Впервые получили начало своего развития прикладные экономико-математические методы проектирования МС, которые стали реализовываться на электронно-вычислительных машинах.

В 1965 г. Б.Л. Геронимус с коллегами В.А. Паршиковым и А.И. Егоровой предложили качественно новую методику проектирования городских маршрутов автобусного транспорта [9]. Построение маршрутов предлагается вести на кратчайших по времени путях, связывающих транспортные микрорайоны города. Оптимизация заключается в нахождении минимума совокупных затрат времени пассажиров на передвижения. При этом авторами сформирован перечень ограничений для оптимизационного процесса, а также предполагается, что ряд априорных маршрутов будет включен в проектируемую МС. Решать данную оптимизационную задачу предлагается с использованием эвристического метода, направленного перебора вариантов, предложенного В.А. Паршиковым [29,30]. При этом в процессе оптимизации определяется МК между микрорайонами города методом анкетного обследования, который дает достаточно хорошие результаты. В 1968 г. разработанная методика была реализована на ЭВМ Урал-2.

В 1966 г. Д.Д. Джумаев (МАДИ) для облегчения процесса направленного перебора вариантов МС предложил метод комбинаторного анализа [15], заключающийся в целенаправленном отборе вариантов МС посредством их сравнения между собой по определенным критериям.

Стоит отметить, что описанные методы не учитывают фактор привлекательности маршрутов того или иного вида транспорта в процессе распределения корреспонденций по путям следования. Кроме того, несовершенство первых ЭВМ не позволяло должным образом задать параметры и критерии оптимизационного процесса.

В 1977 г. В.В. Яворский и И.П. Макаров впервые предложили формировать избыточную совокупность маршрутов (в МС включаются только достаточно рациональные маршруты из всех возможных вариантов) с дальнейшим их анализом и корректировкой до момента достижения заданного критерия оптимальности [25]. Недостаток предложенного метода заключается в том, что объединение микрорайонов на первом этапе проектирования МС по критерию средней интенсивности пассажиропотока (ПП) между ними не совсем учитывает технологические особенности прокладываемых маршрутов и взаимное расположение микрорайонов на территории города. В результате могут получиться маршруты с большим коэффициентом непрямолинейности.

В 1983 г. С.Ю. Ольховский разработал многоэтапный итерационный метод проектирования МС с подробными математическими моделями и алгоритмами. Конкретно было предложено четыре этапа для достижения цели оптимального варианта МС. На первом этапе формируется множество возможных маршрутов, удовлетворяющих заданным технологическим ограничениям. На втором этапе из полученного множества возможных маршрутов формируется рациональная совокуп-

ность по критерию максимизации суммарной на МС пассажиронапряженности беспересадочных сообщений. На третьем этапе проектируются альтернативные варианты МС – кандидаты. При этом учитывается прежде всего количество пассажиров, которые могут совершать передвижения без пересадок. На четвертом этапе осуществляется анализ сформированных вариантов МС по широкому набору показателей и отбор наилучшего из них.

В 1990-х гг. П.Ф. Горбачев [13], В.К. Доля [16] и другие занимались общими вопросами совершенствования МС [5].

Разработки последних лет в области оптимизации городских МС ориентированы главным образом на принцип системности, учет факторов неопределенности и формирование комплексного набора показателей качества перевозок [38, 43, 46]. Так, в работе [38] разработана структура показателей качества транспортного обслуживания пассажиров, которая способна учитывать как объективные нужды пассажиров, так и имеющиеся возможности по их удовлетворению с учетом трудовых, финансовых и др. ресурсов. Авторы работы [43] предлагают формировать МС с учетом основных принципов системного подхода. М.Р Якимовым в работе [46] разработана «многоуровневая система показателей оценки качества» функционирования городских транспортных систем, при этом набор показателей оценки качества значительно расширен автором.

Стали появляться модели оптимизации МС, позволяющие учитывать противоположные интересы участников городской системы ПТОП [22, 48, 50]. Например, в работе [22] в качестве критерия, учитывающего противоположные интересы участников городской системы ПТОП, определяют плотность ПП на исследуемом участке дороги. Максимизация этого критерия, по мнению авторов работы, ведет к сокращению уровня пересадочности, что выгодно для пассажира, и в то же время к увеличению ПП, что увеличивает прибыль перевозчика.

Эвристические методы маршрутизации, получившие развитие в начале 60-х гг., в настоящее время стали классическими, поскольку некоторые авторы уже предлагают метаэвристические подходы проектированию МС [21,22]. В работе [22] предложен метаэвристический алгоритм муравьиных колоний.

Так или иначе, современные подходы к оптимизации МС ориентированы на наличие маршрутных корреспонденций и возможность их распределения по путям следования маршрутов. Вопросам распределения маршрутных корреспонденций на МС посвящено достаточное количество трудов ученых [12, 14, 17, 28, 35] и др. Их анализ позволяет судить о наличии множества параметров (факторов), непосредственно влияющих на выбор пассажиром пути следования: временные затраты на поездку, транспортный тариф, динамический коэффициент использования вместимости, вид транспорта, скорость сообщения, количество пересадок, провозные возможности альтернативных маршрутов, интервал движения ПС ПТОП. Более того, на выбор пассажиром пути следования оказывает влияние социальный («человеческий») фактор, что обуславливает формирование вероятностной функции привлекательности маршрутов.

Таким образом, современные подходы к оптимизации МС ориентированы на процедуру перебора множества возможных вариантов МС (направленная оптимизационная процедура). При этом должны формироваться множество возможных (несколько тысяч) вариантов МС, а из них – происходить выбор наилучшего варианта, обеспечивающего улучшение критерия оптимизации. Должен присутствовать такого рода подход, при котором происходит распределение корреспонденций по путям следования маршрутов и варианты этого распределения. С учетом отмеченных подходов к проектированию МС и перечисленных параметров (факторов), влияющих на выбор пассажиром пути следования, должен подбираться набор необходимых исходных данных (информационное обеспечение) для процесса оптимизации городских МС ПТОП.

Среди этого информационного обеспечения – количественные показатели, которые участвуют непосредственно в расчетах, и, с другой стороны, качественная информация, которая формирует некоторое мировоззрение о конкретном объекте транспортной системы города.

В процессе формирования информационного обеспечения задач оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов разработчики применяют разные подходы, но все они вне зависимости от используемых методов используют следующий набор исходных данных:

1. Информация о городе: численность населения, его структура, распределение объектов приложения труда, количество, размещение и «емкость» объектов приложения труда, территориальные, климатические, географические, геометрические, экономические и другие осо-

бенности города, уровень автомобилизации и т.д. Подобного рода информация необходима для формирования общего представления проектировщиков МС о транспортной системе города, качественного анализа состояния города и его дальнейшего развития, в т. ч. с учетом Генерального плана.

2. Транспортная сеть (ТС), заданная в виде графов с различным уровнем детализации, также может оцениваться и состояние дорожной сети города на качественном уровне – в большей степени для оценки возможного развития ТС с альтернативой формирования на исследуемых участках маршрутов. В конечном итоге проектировщикам необходим граф ТС города *G(Z,U)*, вершинами *Z* которого являются реальные и условные транспортные узлы, а ребрами *U* - участки ТС, по которым возможно движение ПТОП. Именно по графу ТС города строятся маршруты ПТОП. Как правило, граф ТС города получают путем использования геоинформационных систем.

3. Подвижной состав (ПС) ПТОП: его количество, структура по видам транспорта и по типам вместимости. Эти данные количественного характера необходимы для учета в качестве ресурсных ограничений при распределении корреспонденций на МС и формировании набора показателей МС: динамический коэффициент использования вместимости, интервалы движения ПС ПТОП и др. Эксплуатационное состояние, уровень амортизации ПС ПТОП являются информацией качественного характера для оценки проектировщиком МС состояния парка пассажирского транспорта и выдвижения рекомендаций по его обновлению и реструктуризации.

4. Характеристика существующей МС города. Каждый маршрут характеризуется следующим набором количественных показателей: последовательностью транспортных узлов, через которые он проходит (в прямом и в обратном направлении набор транспортных узлов может не совпадать), вместимостью единицы ПС ПТОП, количеством ПС ПТОП, типом ПС ПТОП, видом ПТОП, эксплуатационной скоростью ПС ПТОП, скоростью сообщения, средним интервалом движения ПС ПТОП, протяженностью маршрута.

Подобного рода характеристики каждого городского маршрута можно получить, запросив сведения у Транспортной администрации города. Они важны для предварительной оценки эффективности существующих городских маршрутов.

5. Информация о маршрутных ПП существующей МС необходима для следующих целей:

- возможность получения данных о входящих/выходящих пассажирах на каждом остановочном пункте (ОП) маршрута и таким образом получения информации о распределении ПП на перегонах маршрутов с дальнейшей возможностью оценки рациональности этих маршрутов;
- возможность получения исходных данных о «ёмкостях» условных транспортных микрорайонов, на которые разбивается город, по количеству отправлений из них и прибытий в них пассажиров на ПТОП;
- данные о количестве передвижений, начинающихся и заканчивающихся в каждом микрорайоне, необходимы для моделирования межрайонных корреспонденций в городе;
- возможность получения следующих данных, позволяющих производить оценку маршрута: объем перевозок и его распределение по часам суток, средняя маршрутная дальность поездок пассажиров, динамический коэффициент использования вместимости, пассажиронапряженность маршрута, коэффициент сменяемости пассажиров за рейс, коэффициент неравномерности ПП по перегонам.

Существует множество методов обследования маршрутных ПП [42]. Все они группируются в следующие категории:

- натурные методы;
- анкетный метод;
- отчетно-статистический метод;
- автоматизированные методы с применением автоматических систем мониторинга пассажиропотоков [40];
- ведомственный метод [42].

Все существующие методы обследования ПП имеют как достоинства, так и недостатки. Проектировщики при выборе того или иного метода руководствуются имеющимися ресурсными возможностями и ограничениями.

6. Технологические ограничения на маршруты, а также ограничения, задаваемые проектировщиками МС. Технологическими ограничениями, как правило, являются: предел суммарной протяженности формируемых маршрутов, минимальная длина формируемого маршрута, максимальная длина формируемого маршрута, задание ОП (транспортных узлов), в которых возможно размещение начально-конечных пунктов маршрутов (за основу берется существующее размещение конечных ОП), участки ТС, на которых возможно движение электрического транспорта. Дополнительные ограничения, задаваемые

проектировщиками МС, зависят от используемого подхода и оптимизационной модели. В частности, это ограничения самой математической модели оптимизации.

7. МК, являющаяся моделью некой усредненной суточной (для будних дней) потребности населения города в передвижениях на ПТОП – $A = \|a_{ij}\|; i, j = \overline{1, n}$, где $a_{i,j}$ – потенциальное количество передвижений, совершаемых за сутки в городе с использованием ПТОП от i-го до j-го ОП (транспортного узла). Она будет главной информационной основой проектирования МС и необходима для целей точных количественных оценок МС и, собственно, для целей распределения маршрутных корреспонденций по путям следования в процессе разработки новой МС. Особенно остро стоит проблема формирования МК для крупных и крупнейших городов, что связано с большим объемом получаемой в результате информации. Поэтому проблемы, методы и направления получения МК для крупных и крупнейших городов более подробно рассмотрены ниже.

Вся вышеперечисленная исходная информация задается при проектировании любой МС. В то же время некий дополнительный набор исходных данных, получаемый путем проведения дополнительных обследований, формируется исходя из подходов и методов оптимизации, используемых проектировщиком.

Таким образом можно говорить о всем многообразии используемой для процесса оптимизации МС информации в явном и неявном виде, на количественном и качественном уровнях. В связи с этим представляется актуальным систематизация и определение необходимых методов ее получения.

Важнейшей и наиболее трудоемкой составляющей информационного обеспечения задач по оптимизации городской МС является МК, разработке которой посвящено достаточно большое количество трудов [2, 3, 4, 7, 10, 11, 18, 23, 24, 26, 32, 33, 39, 41, 44, 49]. Большая размерность получаемой информации в сочетании с необходимостью получения наиболее достоверного результата усложняет поиск эффективных решений в этой области. По результатам анализа трудов ученых [2, 3, 4, 7, 10, 11, 18, 23, 24, 26, 32, 33, 39, 41, 44, 51] методы формирования МК можно разбить на три группы:

1) методы математического моделирования;
2) натурные обследования;
3) комбинирование математического моделирования и натурных обследований.

Большинство авторов применяют методы математического моделирования для создания МК [2, 3, 7, 11, 23, 26, 39, 44, 51]. Чаще всего это гравитационные [2, 23, 26] и энтропийные [3, 7, 44] модели, которые предполагают, что формирование величины пассажирской корреспонденции аналогично термодинамическому процессу. Корреспонденция согласно таким моделям рассматривается как детерминированная величина. Результат такого моделирования – только один вариант МК, основанный только на одном факторе предпочтения.

Так, авторы работы [2] предлагают использовать гравитационную модель для расчета МК «с использованием различных функций тяготения для передвижений с различными целями».

Однако в настоящее время для расчета МК наибольшее распространение получили энтропийные модели, гравитационные же используются реже [3]. В работе [3] выбрана энтропийная модель. При этом приводятся два примера такой модели с разными параметрами, определяющими предпочтения участников движения: с параметром, определяющим средневзвешенную стоимость проезда на ПТОП, и с параметром, зависящим от средних затрат времени на реализацию передвижений. Авторами работы выбрана вторая модель.

В работе украинских ученых [11] в противовес гравитационной и энтропийной моделям предлагается интервальная концепция моделирования МК. Результатами расчетов по энтропийной и гравитационной моделям является только один вариант МК, в то время как, по мнению авторов, спрос на передвижения нельзя описать одной МК. Согласно предлагаемой интервальной концепции для получения достоверной оценки результатов рассматривается весь интервал возможных состояний спроса на передвижения и разработана методика формирования промежуточных состояний матрицы в рамках интервальной концепции. В результате расчетов при помощи равновероятностного метода получается МК. Однако недостаток данной методики заключается в том, что для больших городов увеличивается интервал достоверных состояний спроса пассажиров на передвижения и таким образом процесс моделирования всех вариантов МК становится практически невозможным. В работе [33] обосновывается эта идея путем моделирования количества возможных вариантов МК при различных ее размерностях

и отмечается необходимость дальнейших исследований, направленных на сужение интервала возможных состояний МК.

Некоторыми авторами используются статистические методы получения МК, в частности метод Фратара [39, 51], который предполагает определение пропорционального увеличения значения корреспонденции на основе ожидаемой степени изменения объема передвижений в общей совокупности по городу или отдельно между районами. Данный метод не позволяет дать точных результатов моделирования МК.

В то же время стоит отметить, что, так или иначе, по величине погрешности математические модели проигрывают обследованию спроса на транспортные передвижения (опросные, анкетные обследования). Согласно [33] в результате применения гравитационной или энтропийной модели ошибка может колебаться до 200–300%. Обследование спроса на транспортные передвижения для получения МК является достаточно трудоемким процессом. Таким образом возникает задача разработки комбинированного подхода к созданию МК с применением комплекса методов, обеспечивающих соблюдение условий минимального уровня погрешности результатов создания МК. При этом математическое моделирование МК может применяться лишь в качестве вспомогательного, но не основного и единственного метода. Более того, представляется интересным исследование на выявление величины погрешности математического моделирования МК в условиях большой размерности МК и соответственно при достаточно малых значениях средней корреспонденции, что характерно для крупных и крупнейших городов.

На сегодняшний день научные работы предполагают формирование МК с разбивкой города на условные транспортные микрорайоны [2, 3, 11, 27, 39, 47]. В то же время детализация корреспонденций с точностью до ОП отправления/прибытия более обоснована для цели получения адекватной и наиболее приближенной к реальности информации, в частности для получения маршрутных корреспонденций. Немногие разработчики принимают решения по детализации маршрутных корреспонденций с точностью до ОП. В 2000 г. в рамках научно-исследовательской работы «Разработка проекта оптимизации маршрутной сети города Нижневартовска» сотрудники СибАДИ практически приблизились к данной цели, а в 2008–2010 гг. уже при проектировании МС для г. Омска в рамках научно-исследовательской работы «Мониторинг пассажиропотоков и совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта г. Омска» им удалось детализировать всю информацию о маршрутных корреспонденциях с точностью до каждого пассажирообразующего ОП. В 2014 г. авторы работы [26] также предложили в процессе формирования МК производить зонирование города относительно ОП. При этом описана возможность автоматизированного получения искомой информации [6]. Однако в работе [26] предлагается не точный, а вероятностный расчет количества пассажиров, пользующихся ПТОП и использующих для передвижений тот или иной ОП ПТОП.

Получение трудовой (учебной) МК с методологической точки зрения кажется достаточно понятным и прозрачным. Но и здесь существует множество нерешенных и алгоритмически не проработанных задач. В связи с развитием геоинформационных технологий и теории нечетких множеств в данном случае требуются дополнительные исследования и алгоритмизация реализации простых технологий, связанных с получением информации по трудовым и учебным передвижениям. В частности, представляется интересным исследование, связанное с созданием модели трудовой (учебной) МК на примере одного предприятия конкретной отрасли, имеющего несколько адресов приложения труда (несколько филиалов/территорий).

Более того, актуальным является направление на получение МК, содержащей несколько групп корреспонденций в зависимости от их цели (трудовые (учебные), культурно-бытовые, деловые) с использованием комбинированного подхода. Суть комбинированного подхода будет заключаться в применении различных методов для получения той или иной группы корреспонденций. Общая МК в результате будет являться суммой всех групп корреспонденций, полученных разными способами. В настоящее время методологические вопросы получения такой МК отсутствуют. Ученые в качестве основы для проектирования МК берут данные о трудовых передвижениях, являющихся определяющими в структуре городских передвижений, но не единственными. Итоговая МК должна содержать максимально все виды городских передвижений по их целям, а, следовательно, конечная информация должна быть более достоверна и приближена к реальным условиям передвижения населения по территории города.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Важнейшая задача – провести исследования, направленные на создание информационной модели, обеспечивающей оптимизацию МС города, а в рамках ее – задание на информационное обеспечение задач, которые можно было бы представить в виде методики. Эта методика базировалась бы на использовании частных методов получения информации по тем или иным вопросам транспортного обеспечения. Полученная информационная модель, как уже было отмечено выше, должна непременно ориентироваться на современные подходы к оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов. Исходя из этого, а также на основании вышеизложенного анализа состояния вопросов в области формирования информационного обеспечения задач по оптимизации городской МС, можно сформулировать направления дальнейших исследований:

1. Формирование методики информационного обеспечения задач по оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов.
2. Подробный анализ и оценка методов обследования ПП.
3. Подробный анализ методов и проблем получения МК для крупных и крупнейших городов.
4. Создание модели и алгоритма получения трудовой (учебной) МК на примере предприятия конкретной отрасли, имеющего несколько адресов приложения труда (несколько филиалов/территорий).
5. Исследование на выявление величины погрешности математического моделирования МК для крупных и крупнейших городов.
6. Формирование методики получения МК с применением комбинированного подхода.
7. Решение проблемы детализации корреспонденций с точностью до ОП ПТОП в условиях крупных и крупнейших городов.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика информационного обеспечения задач по оптимизации городских МС должна включать в себя совокупность отдельных методик получения необходимой информации, ключевой среди которых является методика формирования МК для крупных и крупнейших городов. Полученная МК должна представлять собой модель суточной потребности населения города в передвижениях на ПТОП, включать в себя всю совокупность передвижений населения по трудовым, учебным, деловым, культурно-бытовым и другим целям с использованием ПТОП, а также она должна быть детализирована с точностью до ОП. При этом предполагается, что предложенная методика получения МК должна включать как использование натурных методов обследования, так и математического моделирования, геоинформационных технологий и др.

Результаты проведенных в этой области исследований могут быть востребованы как разработчиками МС ПТОП, так и Транспортными администрациями городов в качестве типовой основы при формировании технических заданий на оптимизацию МС города.

Исследование должно внести значительный вклад в повышение эффективности проектируемых МС и качества транспортного обслуживания населения, особенно для крупных и крупнейших городов. Научная новизна исследования заключается в формировании комплексной, единой методики информационного обеспечения задач по оптимизации МС для крупных и крупнейших городов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.П., Бронштейн Л.А., Поляков А.А., Городской пассажирский транспорт. М., 1939. 58 с.

2. Алиев А.С., Мазурин Д.С., Максимова Д.А., Швецов В.И. Структура комплексной модели транспортной системы г. Москвы: труды ИСА РАН. Том 65. 1/2015. С. 3-15.

3. Боровиков А.В., Каширский Д.Ю., Ульрих С.А., Ведяшкин В.И. Разработка эффективной матрицы корреспонденции транспортной сети г. Барнаула // Ползуновский вестник. 2013. № 4/3. С. 185-189.

4. Булычева Н. В., Федоров В. П. Расчет пассажиропотоков и оптимизация параметров маршрутных схем // Математические методы в управлении городскими транспортными системами. 1979. С. 65–90.

5. Бурлуцкий А.А. Обеспечение эффективности функционирования дорожной сети крупного города на основе учета ее взаимодействия с потоками пассажирского транспорта (на примере г. Томска) – дисс. … канд. тех. наук: 05.23.11 / Бурлуцкий Андрей Александрович. Томск, 2015. 196 с.

6. Васильева А.Н., Мартынова Ю.А., Мартынов Я.А. Получение массива отправлений пассажиров городского общественного транспорта на основе данных электронных карт: сб. тр. конф. «Молодежь и современные информационные технологии». 2013. С. 361-363.

7. Гасников А.В., Гасникова Е.В., Мендель М.А., Чепурченко К.В. Эволюционные выводы энтропийной модели расчета матрицы корреспонденций // Математическое моделирование. 2016. Том 28. № 4. С. 111-124.

8. Геронимус Б.Л. Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов. 1963.

9. Геронимус Б.Л., Егорова А.И., Паршиков В.А. Математическая методика определения схемы автобусных маршрутов в городах - в кн. Совершенствование планирования и организации автомобильных перевозок. М.: Транспорт, 1965. С. 43-79.

10. Гончаренко С.Ю. Современные проблемы моделирования матриц пассажирских корреспонденций в средних городах // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. / Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. Харьков: НТУ «ХПИ». 2013. № 56 (1029). С. 83-88.

11. Горбачев П. Ф., Россолов А. В., Костенко К. В. Интервальное моделирование спроса на трудовые передвижения в крупнейших городах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2011. № 159. С. 248–253.

12. Горбачов, П. Ф., Копитков Д. М. Оцінка реакції пасажира на час очікування міського пасажирського транспорту // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. № 31. С. 40–42.

13. Горбачев П.Ф., Доля В.К. Формирование рациональной схемы маршрутов пассажирского транспорта в крупнейших городах // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендации для внедрения на АТ. Информ. сборник Мин-во автомоб. трансп. РСФСР. М.: ЦБНТИ. 1990. Вып. С. 8-12.

14. Грановский Б.И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах // Итоги науки и техники «Автомобильный и городской транспорт». Том 11. М.: Издво ВИНИТИ, 1986. С. 67–105.

15. Джумаев Д.Д. Исследование вопросов составления маршрутных схем автобусного транспорта в городах: дис. ... канд. техн. наук / Д.Д. Джумаев. М., 1966. – 229 с.

16. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах: дис. … докт. тех. наук/ Доля Виктор Константинович. М., 1993. 301 с.

17. Дубровский В.В., Горбачев П.Ф. Определение вероятности выбора пассажиром пути следования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків. 2001. №. 2. С. 7 – 9.

*18. Заблоцкий, Г.А.* Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах; под ред. А. Старинкевич. М.: ЦНТИ по гражд. строит. и архит., 1968. 92 с.

19. Закутин Н.Н. Организация трамвайных пассажирских перевозок. М.: Гострансхехиздат, 1938. 255 с.

20. Зильберталь Ф.Х. Трамвайное хозяйство. М.: Гострансиздат, 1932. 304 с.

21. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А., Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия Томского политехнического университета. 2013. Том 323. № 5. С. 79-84.

22. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Цапко С.Г. Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. С. 89-100.

23. Кулакова И.М., Лебедева О.А., Восстановление и оптимизация матрицы корреспонденций транспортных перевозок в среде MATLAB // Вестник АГТА. 2014. № 8. С. 163-166.

24. Лебедева О.А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования: дис. … канд. тех. наук / Лебедева Ольга Анатольевна. Иркутск. 2014. 171 с.

25. Макаров И.П., Яворский В.В. Модели проектирования сети маршрутов городского пассажирского транспорта. в кН.: Моделирование процессов управления транспортными системами: тез. докл. Всесоюзн. конф. Владивосток, 1977. С. 92-95.

26. Мартынова Ю.А., Мартынов Я.А. Расчет матрицы трудовых пассажирских корреспонденций на основе анализа геоданных электронных карт // Глобальный научный потенциал. 2014. № 12(45). С. 102-105.

27. Минкин И.К. Подготовка исходных данных для расчета матрицы корреспонденций (г. Суворов) // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 6. Ч. 1. С. 108-112.

28. Нефедов, Н. А., Альберт Авуа Дж. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. 2014. Том 2. № 3 (68). С. 40–44.

29. Паршиков В.А. Определение оптимального размещения расчетной мощности элементов комплекса устройств. – в кН. Технико-экономические вопросы развития транспорта: Труды конф. молодых специалистов. Кибернетика и транспортные процессы / ИКТП при Госплане СССР. М. 1963. С. 7-33.

30. Паршиков В.А. Приближенное решение комбинаторной задачи размещения комплекса устройств. – в кН. Материалы к конференции по опыту и перспективам применения математических методов и ЭВМ в планировании. Новосибирск, 1962. 8 с.

31. Поляков А.А. Развитие науки в области городских путей сообщения [Электронный ресурс]. URL : http://www.waksman.ru/Russian/Vehi/_Polyakov.pdf (дата обращения: 02.02.2018).

32. Россолов А.В. Закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 4-3(64). С. 8-10.

33. Россолов А.В., Любый Е.В. Определение уровня вариативности матрицы пассажирских корреспонденций // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 4(61). С. 43-47.

34. Сорокин С.В. Информационное обеспечение создания новой маршрутной сети г. Омска. Тюмень, 2010. 35 с.

35. Сорокин, С.В. Повышение эффективности функционирования систем пассажирского транспорта крупных городов на основе оптимизации распределения пассажиропотоков: дис…канд. экон. Наук / С.В. Сорокин; науч. рук. доцент С.Ю. Ольховский; СибАДИ. Омск, 2006. – 235 с.

36. Сорокин С.В., Жукова А.А. Информационное обеспечение работ по совершенствованию маршрутной сети // МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ» (К 85-ЛЕТИЮ ФГБОУ ВПО «СИБАДИ»). 2015. С. 248-252.

37. Сорокин С.В., Шаповал В.В. Формирование информационной базы для совершенствования маршрутной сети городского пассажирского транспорта г. Омска // Материалы Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА». 2010. С. 322-324.

38. Спирин И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта / И.В. Спирин // автореферат дисс. на соискание уч… степени докт.. техн.. наук. М.: 2007. 38 с.

39. Тарханова Н.В., Яценко О.А., Михайлов А.Ю. Восстановление матриц корреспонденций с использованием метода Фратара // Вестник ИрГТУ. 2013. № 6 (77). С. 121-127.

40. Таубкин Г.В., Коптелов О.Г., Быкова Г.П. Планирование перевозок по результатам обследования пассажиропотоков // Транспортное дело России. 2015. № 3. С. 154–155.

41. Трофимов С.П., Дружинина Н.Г., Трофимова О.Г. Моделирование пассажирских потоков городского общественного транспорта // Вестник Уральского института экономики, управления и права. 2015. № 4(33). С. 4-10.

42. Ульяновский И.А. Разработка методов организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта на базе совершенствования методики обследования пассажиропотоков: дис. … канд. тех. наук: Ульяновский Иван Александрович. Вологда. 2006. 160 С.

43. Федоров М.П., Ерихов М.М., Знаменский Д.Н. Системное обоснование критерия оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. 2010. № 4. С. 32-34.

44. Шайхнурова А.Ф., Карамутдинова Г.Р., Губайдуллин И.М. Вычислительные методы расчета матрицы корреспонденций: труды Междунар. науч.. конф. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2015. 529 с.

45. Шаповал В.В. Формирование информационной базы для решения задачи совершенствования маршрутной сети на примере г. Омска // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / СибАДИ. Омск: СибАДИ, 2010. С. 187-190.

46. Якимов М.Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города - дисс. … д-р техн. наук: 05.22.01 / Якимов Михаил Ростиславович. М., 2011. 46с.

47. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. М.: Логос. 2013. 181с.

48. Bachelet B., Yon L. Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation // Proceeding of the 1st OICMS, Clermont-Ferrand. France, 2005. P. 331–342.

49. Carrothers, G.A. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // J. American Instit. Planners. 1956. V. 22. P. 94-102.

50. Nallusamy R., Duaiswamy K., Dhanalaksmi R. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms // International Journal of Engineering Science and Technology. 2009. V. 1 (3). P. 129–135.

51. Fratar, T. J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation // Traffic Quarter . 1954. № 8. pp. 53 – 65.

# INFORMATION SUPPORT OF PUBLIC PASSENGER TRANSPORT NETWORK OPTIMIZATION IN MAJOR CITIES: RELEVANCE AND APPROACHES

***Y. A. Kolber***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The article is devoted to the analysis of scientific developments in the sphere of the information support of public passenger transport networks' optimization in major cities. Currently, insufficient attention is paid to the infobase formation for the urban route networks' optimization.*

***Materials and methods.*** *The article presents the analysis of the experience for optimization of urban route networks on the basis of identified modern optimization approaches, which should be directed to the generated information support. Typical initial information to process city route networks' optimization in qualitative and quantitative indicators, which is used by designers of the route network, is reflected. The most time-consuming among the initial information is the matrix of passenger correspondence, some methods of which are not sufficiently developed nowadays. The problems of forming passenger correspondence matrix for major cities are considered.*

***Results.*** *Relevance of the information support methodology to public passenger transport route networks' optimization in major cities and on the basis of this methodology the correspondence matrix for major cities is substantiated. Therefore, this matrix should contain all types of urban movements, detailing correspondence to the stopping point and provide an acceptable level of results. Moreover, goals and directions for further research in the sphere of information management efficient for route networks' optimization of public passenger transport in major cities are identified.*

***Discussion and conclusion.*** *The results of the investigation could be used as a basis for scientific research, which should make a significant contribution to improving the efficiency of the urban route networks' optimization and the quality of transport services for the population, in particular for major cities.*

**KEYWORDS:** *urban route network, public passenger transport, information support, correspondence matrix, information model, passenger flow, transport network, station, rolling-stock.*

## REFERENCES

1. Aleksandrov A.P., Bronshtejn L.A., Poljakov A.A., *Gorodskoj passazhirskij transport* [Urban passenger transport]. Moscow, 1939. 58 p.

2. Aliev A.S., Mazurin D.S., Maksimova D.A., Shvecov V.I. Struktura kompleksnoj modeli transportnoj sistemy g. Moscow [The structure of an integrated model of transport system of Moscow]: *Trudy ISA RAN*, Tom 65, 1/2015, pp. 3-15.

3. Borovikov A.V., Kashirskij D.Ju., Ul'rih S.A., Vedjashkin V.I. Razrabotka jeffektivnoj matricy korrespondencii transportnoj seti g. Barnaula [Development of an effective correspondence matrix of transport network in the city of Barnaul]. *Polzunovskij vestnik*, 2013, no. 4/3, pp. 185-189.

4. Bulycheva N.V., Fedorov V.P. Raschet passazhiropotokov i optimizacija parametrov marshrutnyh shem [Calculation of passenger traffi and optimization of the parameters of the routing schemes]. *Matematicheskie metody v upravlenii gorodskimi transportnymi sistemami*, 1979, pp. 65–90.

5. Burluckij A.A. *Obespechenie jeffektivnosti funkcionirovanija dorozhnoj seti krupnogo goroda na osnove ucheta ee vzaimodejstvija s potokami passazhirskogo transporta* (na primere g. Tomska) [Ensuring the efficienc of functioning of the road network of a large city on the basis of its interaction with passenger transport flows (on the example of Tomsk)]. Diss. kand. teh. nauk. Tomsk, 2015. 196 p.

6. Vasil'eva A.N., Martynova Ju.A., Martynov Ja.A. Poluchenie massiva otpravlenij passazhirov gorodskogo obsh-

hestvennogo transporta na osnove dannyh jelektronnyh kart [Obtaining an array of departures of passengers of public transport on the basis of electronic maps]. *Sbornik trudov konferencii «Molodezh' i sovremennye informacionnye tehnologii»*, 2013, pp. 361-363.

7. Gasnikov A.V., Gasnikova E.V., Mendel' M.A., Chepurchenko K.V. Jevoljucionnye vyvody jentropijnoj modeli rascheta matricy korrespondencij [Evolutionary conclusions of entropy model of correspondence matrix calculation]. *Matem. Modelirovanie*, 2016, Tom 28. no. 4, pp. 111-124.

8. Geronimus B.L. *Metodika opredelenija optimal'noj shemy avtomobil'nyh marshrutov* [The method of determining the optimal scheme road routes]. 1963.

9. Geronimus B.L., Egorova A.I., Parshikov V.A. Matematicheskaja metodika opredelenija shemy avtobusnyh marshrutov v gorodah [Mathematical methodology for determining the scheme of bus routes in cities]. V kn. *Sovershenstvovanie planirovanija i organizacii avtomobil'nyh perevozok*, Moscow, Transport, 1965, pp. 43-79.

10. Goncharenko S.Ju. Sovremennye problemy modelirovanija matric passazhirskih korrespondencij v srednih gorodah [Modern problems of passenger correspondence matrix modeling in medium-sized cities]. Vestnik Nac. tehn. un-ta «HPI». *Sb. nauch. tr. Temat. vyp. Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah*, Har'kov: NTU «HPI», 2013. no. 56 (1029), pp. 83-88.

11. Gorbachev P.F., Rossolov A.V., Kostenko K.V. Interval'noe modelirovanie sprosa na trudovye peredvizhenija v krupnejshih gorodah [Interval modeling of demand on the labor movement in the largest cities]. *Vestnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja*, 2011. no. 159, pp. 248–253.

12. Gorbachov, P.F., Kopitkov D.M. Ocinka reakciï pasazhira na chas ochikuvannja mis'kogo pasazhirs'kogo transportu [Evaluation of the reaction of the passenger on the waiting time of urban passenger transport]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2008, no. 31, pp. 40–42.

13. Gorbachev P.F., Dolja V.K. Formirovanie racional'noj shemy marshrutov passazhirskogo transporta v krupnejshih gorodah [Formation of a rational scheme of passenger transport routes in major cities]. *Peredovoj proizvodstvennyj opyt i nauchno-tehnicheskie dostizhenija, rekomendacii dlja vnedrenija na AT*. Inform. sbornik Min-vo avtomob. transp. RSFSR. Moscow, CBNTI. 1990, pp. 8-12.

14. Granovskij B.I. Modelirovanie passazhirskih potokov v transportnyh sistemah [Modelling of passenger flows in transport systems]. *Itogi nauki i tehniki «Avtomobil'nyj i gorod- skoj transport»*. Tom 11. Moscow, Izd-vo VINITI. 1986, pp. 67–105.

15. Dzhumaev D.D. *Issledovanie voprosov sostavlenija marshrutnyh shem avtobusnogo transporta v gorodah* [Research of questions of drawing up route schemes of bus transport in the cities]. Dis. kand. tehn. nauk. Moscow, 1966. 229 p.

16. Dolja V.K. *Teoreticheskie osnovy i metody organizacii marshrutnyh avtobusnyh perevozok passazhirov v krupnejshih gorodah* [Theoretical bases and methods of organization of route bus transportation of passengers in the largest cities]. Dis. dokt. teh. nauk. Moscow, 1993. 301 p.

17. Dubrovskij V.V., Gorbachev P.F. *Opredelenie verojatnosti vybora passazhirom puti sle- dovanija. Informacijno-kerujuchi sistemi na zaliznichnomu transporti* [The determination of the probability of a passenger to choose the route]. Harkiv, 2001. no. 2, pp. 7 – 9.

18. Zablockij, G. A. *Metody rascheta potokov passazhirov i transporta v gorodah* [Methods for calculating passenger and transport flows in cities]; pod red. A. Starinkevich. Moscow, CNTI po grazhd. stroit. i arhit., 1968. 92 p.

19. Zakutin N.N. *Organizacija tramvajnyh passazhirskih perevozok* [The organization of tram passenger transport]. Moscow, Gostranstehizdat, 1938. 255 p.

20. Zil'bertal' F.H. *Tramvajnoe hozjajstvo* [Tram economy]. Moscow, Gostransizdat, 1932. 304 p.

21. Kochegurova E.A., Martynova Ju.A., Optimizacija sostavlenija marshrutov obshhestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Optimization of drawing up routes of public transport during creation of the automated system of support of decision-making]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2013, Tom 323, no. 5, pp. 79-84.

22. Kochegurova E.A., Martynov Ja.A., Martynova Ju.A., Capko S.G. Algoritm murav'inyh kolonij dlja zadachi proektirovanija racional'nyh marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta [Algorithm of ant colonies for a problem of design of rational route networks of city passenger transport]. *Vestnik SibGUTI*, 2014, no. 3, pp. 89-100.

23. Kulakova I.M., Lebedeva O.A., Vosstanovlenie i optimizacija matricy korrespondencij transportnyh perevozok v srede MATLAB [Restoration and optimization of a matrix of correspondence of transport transportations in the environment of MATLAB]. *Vestnik AGTA,* 2014, no. 8, pp. 163-166.

24. Lebedeva O.A. *Sovershenstvovanie metodov monitoringa passazhiropotokov na marshrutah gorodskogo passazhirskogo transporta obshhego pol'zovanija* [Improvement of methods of monitoring of passenger traffic on routes of public city passenger transport]. Dis. kand. teh. nauk. Irkutsk, 2014. 171 p.

25. Makarov I.P., Javorskij V.V. Modeli proektirovanija seti marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta [Models of design of network of routes of city passenger transport]. *V kN. Modelirovanie processov upravlenija transportnymi sistemami. Tez. dokl. Vsesojuzn. konf.* Vladivostok, 1977, pp. 92-95.

26. Martynova Ju.A., Martynov Ja.A. Raschet matricy trudovyh passazhirskih korrespondencij na osnove analiza geodannyh jelektronnyh kart [Calculation of a matrix of labor passenger correspondence on the basis of the analysis of geothese electronic cards]. *Global'nyj nauchnyj potencial*, 2014, no. 12(45), pp. 102-105.

27. Minkin I.K. Podgotovka ishodnyh dannyh dlja rascheta matricy korrespondencij (g. Suvorov) [Preparation of basic data for calculation of a matrix of correspondence (Suvorov)]. *Izvestija TulGU, Tehnicheskie nauki*, 2015, no. 6. Ch. 1, pp. 108-112.

28. Nefedov, N. A., Al'bert Avua Dzh. Jeksperimental'noe issledovanie verojatnosti vybora passazhirom marshruta sledovanija [Pilot study of probability of the choice by the passenger of a route]. *Vostochno- Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2014, Tom 2, no. 3 (68), pp. 40–44.

29. Parshikov V.A. Opredelenie optimal'nogo razmeshhenija raschetnoj moshhnosti jelementov kompleksa ustrojstv [Definition of optimum placement of settlement power of elements of a complex of devices]. *V kN. Tehniko-jekonomicheskie voprosy razvitija transporta. Trudy konf. molodyh specialistov. Kibernetika i transportnye processy. IKTP pri Gosplane SSSR*. Moscow, 1963. pp. 7-33.

30. Parshikov V.A. Priblizhennoe reshenie kombinatornoj zadachi razmeshhenija kompleksa ustrojstv [Approximate solution of a combinatory problem of placement of a complex of devices]. *V kN. Materialy k konferencii po opytu i perspektivam primenenija matematicheskih metodov i JeVM v planirovanii*. Novosibirsk, 1962. 8 p.

31. Poljakov A.A. Razvitie nauki v oblasti gorodskih putej soobshhenija [Development of science in the field of city means of communication] [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.waksman.ru/Russian/Vehi/_Polyakov.pdf (accessed 02.02.2018).

32. Rossolov A.V. Zakonomernosti formirovanija sprosa na uslugi gorodskogo passazhirskogo transporta [Regularities of formation of demand for services of city passenger transport]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2013, no. 4-3(64), pp. 8-10.

33. Rossolov A.V., Ljubyj E.V. Opredelenie urovnja variativnosti matricy passazhirskih korrespondencij [Determina-

tion of level of variability of a matrix of passenger correspondence]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2013, no. 4(61), pp. 43-47.

34. Sorokin S.V. Informacionnoe obespechenie sozdanija novoj marshrutnoj seti g. Omska [Information support of creation of new route network of Omsk]. Tjumen', 2010. 35 p.

35. Sorokin, S.V. *Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija sistem passazhirskogo transporta krupnyh gorodov na osnove optimizacii raspredelenija passazhiropotokov* [Increase in efficienc of functioning of systems of passenger transport of the large cities on the basis of optimization of distribution of passenger traffics] Dis. kand. jekon. nauk. Omsk, 2006. 235 p.

36. Sorokin S.V., Zhukova A.A. Informacionnoe obespechenie rabot po sovershenstvovaniju marshrutnoj seti [Information support of works on improvement of route network]. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «arhitektura, stroitel"stvo, transport*» (K 85-LETIJu FGBOU VPO «SIBADI»*),* 2015, pp. 248-252.

37. Sorokin S.V., Shapoval V.V. Formirovanie informacionnoj bazy dlja sovershenstvovanija marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo transporta g. Omska [Formation of information base for improvement of route network of city passenger transport of Omsk]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «PROBLEMY FUNKCIONIROVANIJa SISTEM TRANSPORTA»*, 2010, pp. 322-324.

38. Spirin I.V. *Nauchnye osnovy kompleksnoj restrukturizacii gorodskogo avtobusnogo transporta* [Scientific bases of complex restructuring of city bus transport]. Avtoreferat diss. na soiskanie uch. stepeni dokt. tehn. nauk. Moscow, 2007. 38 p.

39. Tarhanova N.V., Jacenko O.A., Mihajlov A.Ju. Vosstanovlenie matric korrespondencij s ispol'zovaniem metoda Fratara [Restoration of matrixes of correspondence with use of the Fratara method]. *Vestnik IrGTU*, 2013, no. 6 (77), pp. 121-127.

40. Taubkin G.V., Koptelov O.G., Bykova G.P. Planirovanie perevozok po rezul'tatam obsledovanija passazhiropotokov [Planning of transportations by results of inspection of passenger traffics] *Transportnoe delo Rossii*, 2015, no. 3, pp. 154-155.

41. Trofimov S.P., Druzhinina N.G., Trofimova O.G. Modelirovanie passazhirskih potokov gorodskogo obshhestvennogo transporta [Modeling of passenger streams of city public transport]. *Vestnik Ural'skogo instituta jekonomiki, upravlenija i prava*, 2015, no. 4(33), pp. 4-10.

42. Ul'janovskij I.A. *Razrabotka metodov organizacii marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta na baze sovershenstvovanija metodiki obsledovanija passazhiropotokov* [Development of methods of the organization of route networks of city passenger transport on the basis of improvement of a technique of inspection of passenger traffics] Dis. kand. teh. nauk. Vologda, 2006. 160 p.

43. Fedorov M.P., Erihov M.M., Znamenskij D.N. Sistemnoe obosnovanie kriterija optimizacii marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo transporta [System justification of criterion of optimization of route network of city passenger transport]. *Avtotransportnoe predprijatie*, 2010, no. 4, pp. 32-34.

44. Shajhnurova A.F., Karamutdinova G.R., Gubajdullin I.M. Vychislitel'nye metody rascheta matricy korrespondencij [Computing methods of calculation of a matrix of correspondence]. *Trudy mezhdunar. nauch.. konf. Cheljabinsk*, Izdatel'skij centr JuUrGU, 2015. 529 p.

45. Shapoval V.V. Formirovanie informacionnoj bazy dlja reshenija zadachi sovershenstvovanija marshrutnoj seti ne primere g. Omska [Formation of information base for the solution of a problem of improvement of route network not an example of Omsk]. *Razvitie dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noj infrastruktury na osnove racional'nogo prirodopol'zovanija. Materialy V (5) Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Omsk, SibADI. 2010, pp. 187-190.

46. Jakimov M.R. *Nauchnaja metodologija formirovanija jeffektivnoj transportnoj sistemy krupnogo goroda* [Scientific methodology of formation of the effective transport system of the large city]. Diss. dokt. tehn. nauk. Moscow, 2011. 46 p.

47. Jakimov M.R. *Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnyh modelej gorodov* [Transport planning: creation of transport models of the cities]: monografija. Moscow. Logos. 2013. 181p.

46. Bachelet B., Yon L. *Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation*. Proceeding of the 1st OICMS, Clermont-Ferrand. France, 2005, pp. 331–342.

47. Carrothers, G.A. *An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction*. J. American Instit. Planners, 1956, V. 22. pp. 94-102.

48. Nallusamy R., Duaiswamy K., Dhanalaksmi R. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International Journal of Engineering Science and Technology,* 2009, V. 1 (3), pp. 129–135.

49. Fratar, T. J. *Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation*. Traffic Quarter , 1954, no. 8, pp. 53 – 65.

***Поступила 21.02.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Колебер Юлия Андреевна – специалист по учебно-методической работе учебно-методического управления, преподаватель и аспирант кафедры «Логистика» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uljachabol@mail.ru).*

*Kolber Yuliya Andreevna-specialist on educational and methodical work, lecturer and post-graduate student of the Department "Logistics" of SibADI (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: uljachabol@mail.ru).*

**УДК** 621.793

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ КЛАПАНОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТОПОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

***Д.Н. Коротаев[1], К.Н. Полещенко[2], П.Б. Гринберг[2], Е.Е. Тарасов[3]***
*[1]ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, Россия;*
*[2]Омский научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей (НИИД), Омск, Россия;*
*[3]ФГУП ФНПЦ «Прогресс», Омск, Россия*

## АННОТАЦИЯ

***Введение.*** *На основе исследования топологии покрытий, созданных ионно-плазменным напылением поверхностей сталей, применяемых для клапанов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), проведена цифровая обработка изображений и расчет спектров мультифрактальных размерностей.*
***Результаты.*** *Выполнена количественная оценка структурных изменений, полученных на различных энергетических режимах ионно-плазменного напыления.*
***Обсуждение и заключение.*** *Показано, что комплексные показатели мультифрактальных размерностей можно использовать для прогнозирования и оптимизации режимов ионно-плазменной обработки с целью формирования износостойких покрытий на автомобильных деталях.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *ионно-плазменное напыление, клапан ДВС, топокомпозитные покрытия, нанокластерная технология, мультифрактальная параметризация.*

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация перевозок пассажиров и различных грузов обусловлена совершенствованием ремонта автомобильного транспорта, эксплуатационная надёжность которого напрямую зависит от применения прогрессивных методов восстановления работоспособности агрегатов и систем автомобилей.

Одним из наиболее экономичных вариантов обеспечения требуемого уровня работоспособности автомобилей является ремонт агрегатов и восстановление геометрических размеров деталей. Для этих целей широко используются методы газоплазменного, пламенного напыления и различные способы наплавки. Однако в процессе наплавки и напыления могут возникать дефекты, в том числе трещины и поры, которые снижают эксплуатационную надежность покрытия, а в некоторых случаях способствуют аварийному выходу детали из строя. Для предотвращения внезапного разрушения используются технические решения, объединяющие вышеуказанные методы с методами лезвийной обработки и поверхностного пластического деформирования, достаточно хорошо изученные.

Одним из прогрессивных и эффективных по соотношению цена/качество методов, обеспечивающих работоспособность и повышение ресурса деталей, которые эксплуатируются в условиях абразивного, адгезионного, коррозионного и фреттинг-усталостного изнашивания ,является ионно-плазменное нанесение топокомпозитных покрытий [1].

Наноструктурные топокомпозитные покрытия (НСТКП), полученные с использованием ионно-плазменной нанокластерной технологии (ИПНКТ), обеспечивают надежность изделий и узлов за счет повышения усталостной прочности, износостойкости, сохраняют работоспособность в активных и агрессивных средах [2]. Это позволяет рассматривать ИПНКТ в качестве перспективной технологической операции на стадии финишной обработки в процессах восстановления и упрочнения деталей автотранспортной техники, в частности клапанов двигателей внутреннего сгорания.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Используемые материалы для клапанов двигателей внутреннего сгорания должны сопротивляться действию повторных динамических нагрузок при высоких температурах (до

900 °С), иметь достаточно высокую поверхностную твердость, противостоять разъедающему действию продуктов сгорания, обладать достаточной теплопроводностью и ограниченным коэффициентом термического расширения. Кроме того, клапанная сталь во избежание хрупкости не должна закаливаться на воздухе при охлаждении клапана с его рабочих температур. Лучшие клапанные стали марок Х14Н14В, Х14Н14ВС, а также сталь марки 55Х20Г9АН4, обладая высокой твердостью, достигающей 500 НВ, характеризуются высокой хрупкостью. Таким образом, ни одна из известных марок стали, всем перечисленным требованиям в полной мере не удовлетворяет.

Вместе с тем результаты апробации материалов и изделий с наноструктурными топокомпозитными покрытиями показали, что посредством использования нанокластерной технологии достигается повышение эксплуатационных свойств исследуемых объектов в широком диапазоне температурно-скоростного нагружения. Результаты испытаний показали, что наноструктурные топокомпозитные покрытия обеспечивают высокую микротвердость поверхности (до 1 800–2 500 кгс/мм$^2$), низкую склонность к схватыванию и пониженный (в 2–4 раза) коэффициент трения по сравнению с немодифицированными изделиями. Эти характеристики обеспечивают повышение эрозионной стойкости поверхности деталей до 50% при абразивном изнашивании. Кроме того, НСТКП имеют пониженный электрохимический потенциал, что способствует снижению интенсивности коррозионных процессов разрушения поверхностных слоев деталей в процессе их эксплуатации.

Структурно-фазовые состояния покрытий, сформированных при ионно-плазменном воздействии, характеризуются высокой плотностью дефектов, субзеренной структурой с различной степенью упорядоченности, а также наличием ультрадисперсной кристаллической структуры, содержащей нанофазные образования. При определённых условиях ионно-плазменной обработки поверхность покрытий характеризуется специфической топологией, отличающейся наличием кластерных образований.

Как было установлено ранее [3], эксплуатационное поведение конструктивных элементов с наноструктурными топокомпозитными покрытиями зависит от их структурно-морфологических характеристик [1,2,3]. В связи с этим особую актуальность приобретает решение задачи установления надежных корреляций между технологическими режимами ионно-плазменной обработки, топологическими характеристиками поверхности покрытий и эксплуатационными свойствами модифицированных деталей.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление взаимосвязей между мультифрактальными параметрами топокомпозитных покрытий, режимами ионно-плазменной обработки и эксплуатационными свойствами модифицированных изделий для совершенствования технологии упрочнения и восстановления клапанов двигателей внутреннего сгорания.

## СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Ионно-плазменное воздействие на металлические материалы проявляется в первую очередь как мощный тепловой источник, инициирующий развитие высоких температур, их градиентов, ударных импульсов, а также сверхскоростных процессов нагрева и охлаждения, которые определяют динамику неравновесных структурных превращений и особенности формируемой топологии поверхности. В таких условиях для получения наиболее полной информации о результатах структурообразования кроме экспериментальных металлографических и электронно-микроскопических исследований требуются методы количественного анализа модифицированных поверхностей.

Эффективным способом визуализации и количественного описания структур является мультифрактальная параметризация (МФП), с помощью которой возможно охарактеризовать образование покрытий при различных внешних воздействиях [4, 5]. МФП с помощью спектра мультифрактальных размерностей позволяет описать системы со сложной и неоднородной структурой, к числу которых относятся покрытия, созданные ионно-плазменной обработкой материалов.

По спектрам мультифрактальных размерностей количественно оценивают не только конфигурацию исследуемой структуры в целом, но и определяют комплексные показатели, характеризующие упорядоченность, однородность и периодичность в структурной организации материала [6].

В качестве мер для вычисления фрактальных и мультифрактальных параметров структуры материалов используют количество микроструктурных объектов на единичной площади металлографического шлифа, размер

зерен, их площадь и длину периметра границ, уровень темно-серого оттенка и т.п. [4,5,6].

На основе спектра мультифрактальных размерностей можно вычислить комплексный показатель

$$\Delta_q = D_1 - D_q,$$

где q – целочисленная величина от -∞ до +∞, используемая для генерации мультифрактальных характеристик.

Отдельные составляющие спектра мультифрактальных размерностей $D_q$ и $f(\alpha_q)$ характеризуют структурно-энергетическое состояние материала и полноту информационного описания, а комплексные показатели $\Delta_q$–степень упорядоченности, периодичности и однородности его структуры [4].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Ионно-плазменная обработка осуществлялась на модернизированной установке ННВ-6.6 с использованием трехкатодной системы, позволяющей осуществлять активацию поверхности за счет ее распыления под разными углами, а также наносить покрытия различного состава [4]. Режимы ионно-плазменного модифицирования приведены в таблице 1. В качестве материалов катодов использовались сплавы ВТ1-0, Х99А и А99. Обработке подвергались образцы из стали Х14Н14ВС широко используемой в качестве материала для выпускных клапанов. Испытания на износостойкость проводились на виброустановке, позволяющей оценивать износостойкость образцов в условиях окислительных и колебательных процессов. Методика эксперимента и обработка экспериментальных данных проводилась в соответствие с общепринятыми рекомендациями [7]. Принимались следующие условия испытаний на износостойкость: давление Р = 4МПа; скорость перемещения V = 1м/с; время испытания t = 60 мин; частота колебаний f = 10 Гц, амплитуда перемещений Ап = 0,2 мм.

Для изучения топологии поверхности использовался растровый электронный микроскоп JEOL. Были получены изображения поверхностей в зависимости от варьируемых режимов ионно-плазменной обработки. На основе анализа полученных данных определялись соответствующие режимам ионно-плазменного воздействия структурно-морфологические типы покрытий.

Расчет спектра мультифрактальных размерностей осуществлялся с помощью программы MFRDrom, разработанной Институтом металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. Для этого из оцифрованных изображений исследуемых микроструктур вырезались фрагменты размером 250х250 пикселей, и с них снималась контрастная маска. По полученным изображениям определялись мультифрактальные показатели структурной организации материала. Генерация спектра мультифрактальных размерностей осуществлялась в диапазоне $0 < q < +40$.

В качестве основных показателей для структурного анализа принимались фрактальная размерность самоподобия $D_0$, информационная размерность $D_1$, корреляционная размерность $D_2$, пороговая устойчивость $D_{40}$, а также $\Delta_{40}$, $\alpha_{40}$ и $f_{40}$. Комплексный показатель $\Delta_{40}$ характеризует упорядоченность, $\alpha_{40}$ – периодичность и устойчивость структурного состояния, $f_{40}$ – однородность структуры.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведены изображения изменения структуры покрытий после ионно-плазменной обработки, на основе которых рассчитывались МФП структур.

Характеристика $D_{40}$ содержит количественную информацию о термодинамических условиях формирования изучаемых структур. Чем выше значение $D_{40}$, тем больше значения энтропии, поэтому величина $D_{40}$ может приме-

Таблица 1
РЕЖИМЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ
Table 1
MODES OF ION-PLASMA MODIFICATION

| Номер режима | Напряжение на подложке U, В | Ток разряда I, А | Температура нагрева, ° С | Реактивный газ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 80–90 | 70–80 | 300–320 | Азот |
| 2 | 100–120 | 80–85 | 370–390 | Азот |
| 3 | 180–200 | 100–110 | 400–420 | Азот |
| 4 | 600–620 | 120–140 | 450–470 | Азот |
| 5 | 900–920 | 180–200 | 600–650 | Азот |

няться для распознания изучаемых структур материалов. Под степенью однородности $f_{40}$ понимается показатель характера распределения единичных элементов рассматриваемой структуры в евклидовом пространстве, охватывающем эту структуру. Чем больше $f_{40,}$ тем структура более однородна для канонических вариантов спектров. Показатель $\Delta_{40}$ отражает степень упорядоченности и нарушения симметрии для общей конфигурации исследуемой структуры в целом. Увеличение $\Delta_{40}$ показывает, что в структуре становится больше периодической составляющей и в ней возрастает степень нарушенной симметрии. Показатель $\alpha_{40}$, характеризующий периодичность и устойчивость структурного состояния, больше отвечает за дальнюю упорядоченность. Этот параметр показывает, что сформированные покрытия обладают близкой структурной устойчивостью.

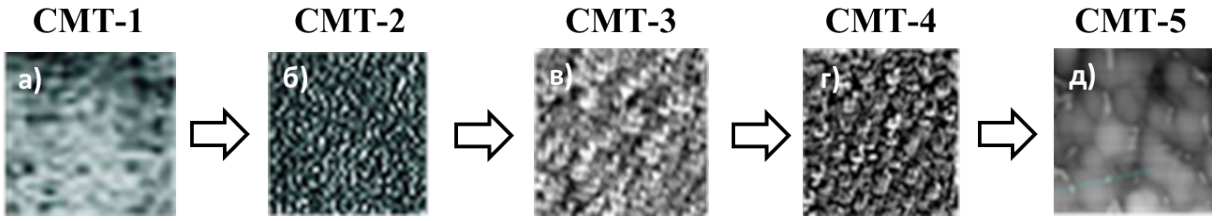
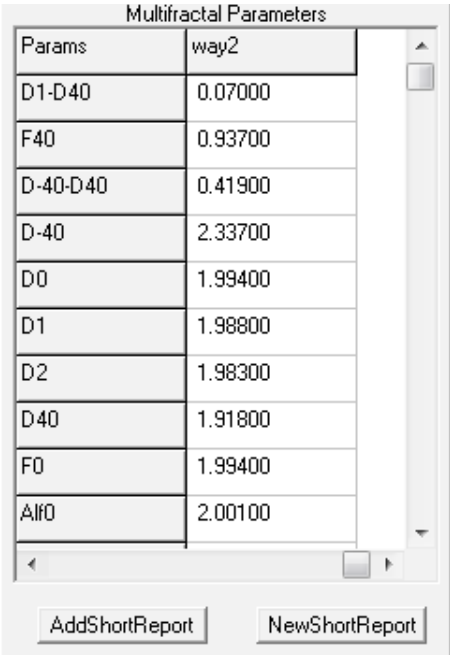


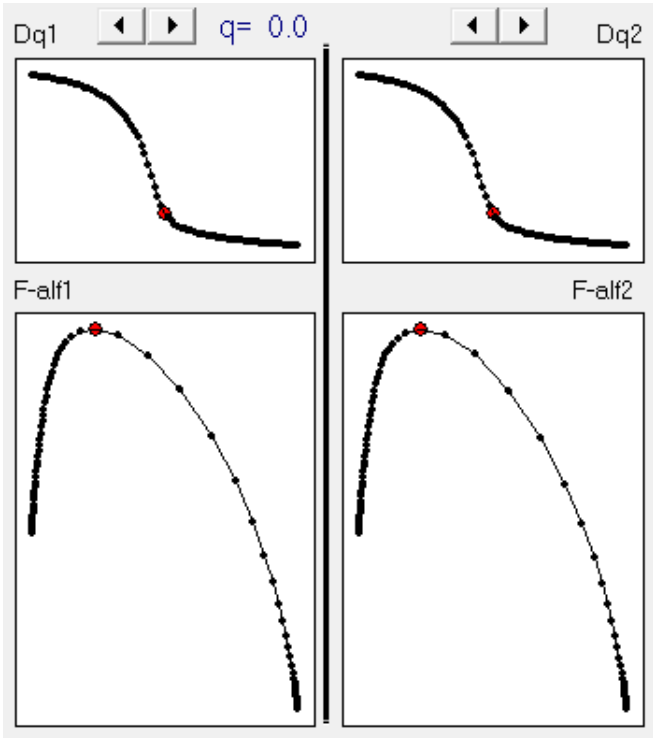

*Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения структуры покрытий: а), б), в), г), д) соответствуют режимам 1,2,3,4,5 ионно-плазменной обработки (×4020). Обозначения: СМТ – структурно-морфологический тип покрытия, соответствующий режимам 1,2,3,4,5, приведенным в таблице 1.*
*Figure 1 – Electronically microscopic images of the coatings' structure: a), b), c), d), e) correspond to 1,2,3,4,5 modes of the ion-plasma treatment (× 4020). Notes: SMT is a structural morphological type of coating, corresponding to 1,2,3,4,5 modes, given in the Table 1.*

На рисунке 2 представлены расчетная таблица мультифрактальных параметров структуры и полученные с изображений канонические спектры, которые соответствуют типичному виду мультифрактальных кривых [5].


Multifractal Parameters

| Params | way2 |
|---|---|
| D1-D40 | 0.07000 |
| F40 | 0.93700 |
| D-40-D40 | 0.41900 |
| D-40 | 2.33700 |
| D0 | 1.99400 |
| D1 | 1.98800 |
| D2 | 1.98300 |
| D40 | 1.91800 |
| F0 | 1.99400 |
| Alf0 | 2.00100 |

AddShortReport NewShortReport




а) б)

*Рисунок 2 – Пример расчета мультифрактальных параметров (а) и вид мультифрактальных спектров (б)*
*Figure 2 – Example of the multifractal parameters' calculation (a) and the form of multifractal spectra (b)*

По характеру изменения мультифрактальных спектров можно заключить, что структурные изменения в результате ионно-плазменного воздействия реализуются по единым алгоритмам, отличаясь незначительно на количественном уровне.

Основные мультифрактальные характеристики поверхностно-модифицированных слоев, рассчитанные с помощью программы MFRDrom, приведены в таблице 2.

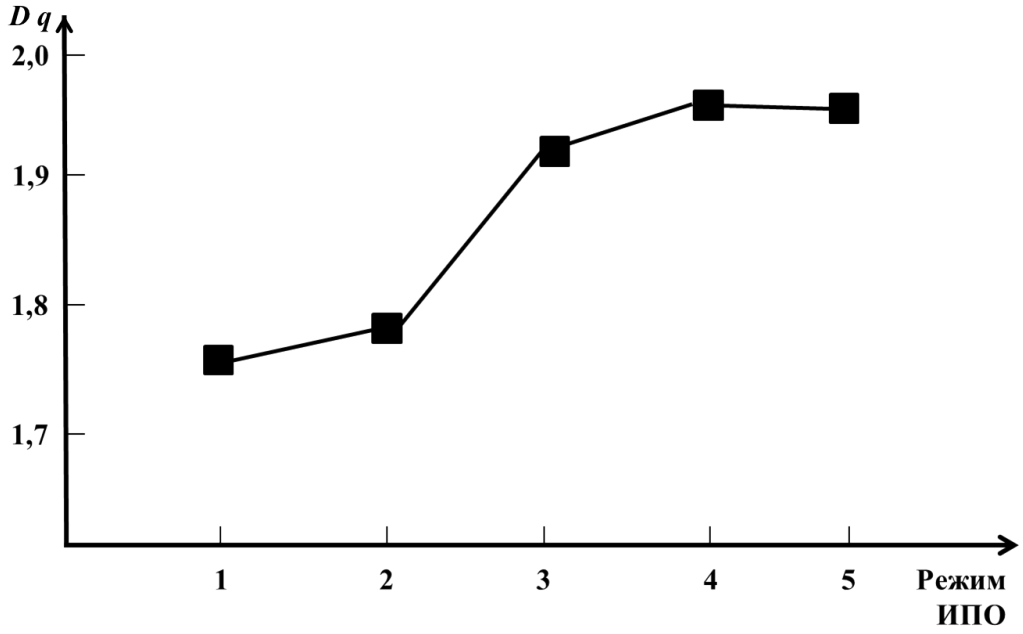
Показателями присутствия фрактальных свойств у поверхностей являются соответствующие величины размерности самоподобия $D_0$ = 1,991 – 2,013 и пороговая устойчивость $D_{40}$ = 1,781 – 1,932, так как известно, что материалы не испытывающие никаких изменений, не переходят порог перколяции составляющий $D_{40}$ = 1,757 [6].

Для исследуемых структур покрытий установлено, что при обработке поверхностей образцов на режимах 4 и 5 показатель $\Delta_{40}$, характеризующий структурную упорядоченность, имеет минимальные значения.

Таблица 2
ЗНАЧЕНИЯ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ
Table 2
VALUES OF THE COATINGS' MULTIFRACTAL PARAMETERS AFTER ION-PLASMA TREATMENT

| Параметр | Номер режима | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Δ40 | 0,193 | 0,186 | 0,088 | 0,055 | 0,070 |
| f40 | 0,347 | 0,236 | 0,167 | 0,919 | 0,937 |
| D0 | 1,993 | 2,013 | 1,996 | 1,991 | 1,994 |
| D1 | 1,974 | 1,985 | 1,991 | 1,987 | 1,988 |
| D2 | 1,955 | 1,957 | 1,986 | 1,984 | 1,983 |
| D40 | 1,781 | 1,799 | 1,903 | 1,932 | 1,918 |
| α40 | 1,745 | 1,760 | 1,859 | 1,907 | 1,893 |

На рисунке 3 приведено влияние режимов ионно-плазменной обработки на комплексный мультифрактальный показатель структуры $D_{40}$ и скорость изнашивания покрытия.




*Рисунке 3 – Влияние режимов ионно-плазменной обработки (ИПО) на мультифрактальный параметр структуры $D_{40}$*
*Figure 3 – Influence of ion-plasma treatment modes (IPO) on the multifractal parameter of the $D_{40}$ structure*

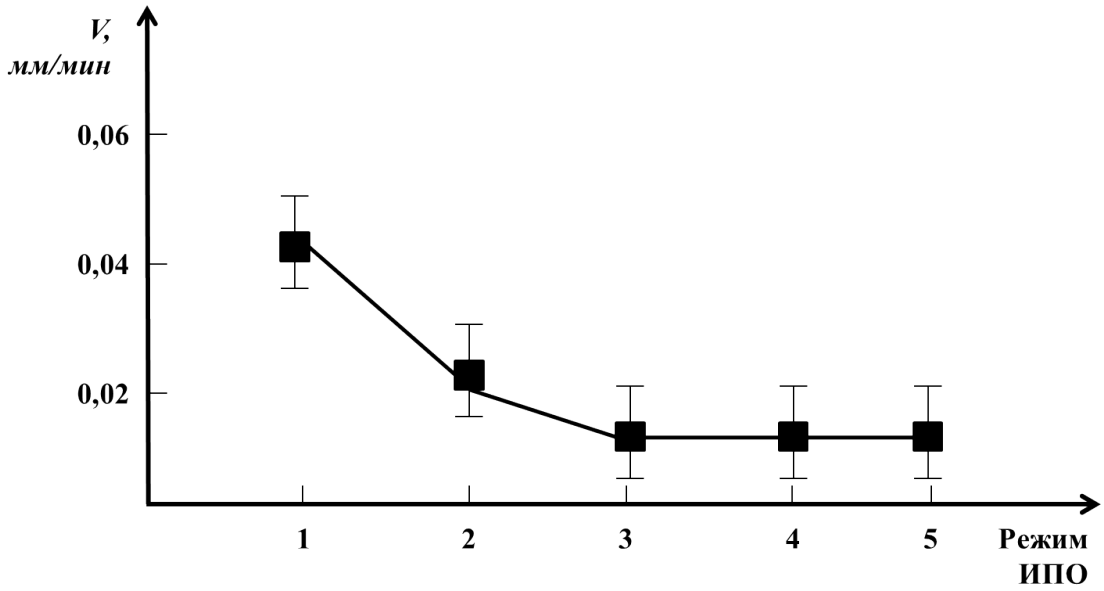



*Рисунок 4 – Влияние режимов ионно-плазменной обработки (ИПО) на скорость изнашивания стали с наноструктурным топокомпозитным покрытием*
*Figure 4 – Influence of ion-plasma treatment (IPO) modes on the wear rate of steel with nanostructured topocomposite coating*

Установлено, что в диапазоне развития наиболее однородной структуры (таблица 2) с максимальным порогом устойчивости (рисунок 3) и наименьшей упорядоченностью (таблица 2) располагается минимум скорости изнашивания покрытия, сформированного ионно-плазменной обработкой на режимах 4 и 5.

## ВЫВОДЫ

1. Электронно-микроскопические исследования структуры покрытий при различных режимах ионно-плазменной обработки и количественная оценка их микроструктурных параметров с помощью спектра мультифрактальных размерностей позволили установить закономерности изменения топологии поверхности.

2. На основе проведённого мультифрактального анализа установлено, что наиболее чувствительными характеристиками к режимам ионно-плазменного воздействия являются степень однородности $f_{40}$ и структурной упорядоченности $\Delta_{40}$.

3. В результате проведенного исследования установлена взаимосвязь между комплексными параметрами спектра мультифрактальных размерностей структур, сформированных ионно-плазменным модифицированием, и эксплуатационными свойствами изделий с наноструктурными покрытиями. Показано, что минимальное значение скорости изнашивания сталей с топокомпозитными покрытиями достигается в области развития наименее упорядоченной микроструктуры и наибольшей пороговой устойчивости.

4. Результаты проведенного исследования выявили корреляцию между режимами ионно-плазменной обработки, мультифрактальными параметрами наноструктурных покрытий и физико-механическими свойствами модифицированных изделий, которые можно использовать в качестве рекомендаций при разработке технологий упрочнения и восстановления деталей автотранспортной техники.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гринберг П.Б., Горюнов В.Н., Полещенко К.Н., Тарасов Е.Е. Инновационные методы и технологии повышения ресурса трибосопряжений // Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: матер. Международного конгресса. Омск: СибАДИ, 2013. Кн. 3. С.352–355.

2. Гринберг П.Б., Коротаев Д.Н., Полещенко К.Н., Суриков В.И. Разработка и получение наноструктурных топокомпозитов // Вестник СибАДИ. 2015. № 3(43). С.39–45.

3. Полещенко К.Н., Коротаев Д.Н., Тарасов Е.Е. Структурно-морфологические особенности наноструктурных топокомпозитных покрытий триботехнического назначения // Вестник СибАДИ. № 4 (50). 2016. С.126–132.

4. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Бунин И.Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. М.- Ижевск: научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. 116 с.

5. Korotaev D.N., Ivanova E.V., Kim V.A. Fractal parametrization in erosion process and surface investigation

received by electrospark modificat on/ Journal of Physics: Conference Series. № 858 (2017). С. 012016.

6. Русинов П.О., Бледнова Ж.М. Структурные и технологические закономерности формирования поверхностных слоев из материалов с эффектом памяти формы высокоскоростным газопламенным напылением // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2014. № 6. С. 322–329.

7. ГОСТ 23.211–80 – «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии».

***Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ проекта № 11.11760.2018/11.12.***

# IMPROVEMENT OF THE ION-PLASMA DUSTING METHOD OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES' VALVES BASING ON THE TOPOCOMPOSITE COVERINGS' MULTIFRACTAL ANALYSIS

***D.N. Korotaev, K.N. Poleshchenko, P.B. Grinberg, E.E. Tarasov***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *Digital image and calculation of multifractal dimension spectra are carried out in the research basing on the investigation of the coatings' topology, which are created by ion-plasma spraying on steel surfaces and used for internal combustion engine (ICE) valves.*
***Results.*** *Quantitative assessment of the structural changes received on the different power modes of ion-plasma dusting is executed in the article.*
***Discussion and conclusion.*** *It is concluded that complex indicators of multifractal dimensions could be used for forecasting and optimization of the ion-plasma processing modes for the purpose of anti-wear coatings on automobile parts at the repair process forming.*

**KEYWORDS:** *automobile parts, ion-plasma dusting, ICE valve, topocomposite coverings, nanocluster technology, multifractal parametrization.*

## REFERENCES

1. Grinberg P.B., Goryunov V.N., Poleschenko K.N., Tarasov E.E. Innovacionnie metodi i tehnologii povisheniya resursa tribosopryajenii [Innovative methods and technologies to increase the life of tribo-joints]. *Arhitektura. Stroitelstvo. Transport. Tehnologii. Innovacii. Mater. Mejdunarodnogo kongressa*. Omsk.SibADI, 2013. Kn. 3, pp.352 - 355.

2. Grinberg P.B., Korotaev D.N, Poleschenko K.N., Surikov V.I. Razrabotka i poluchenie nanostrukturnih topokompozitov [Development and production of nanostructured topocomposites]. *Vestnik SibADI*, 2015, no. 3 (43), pp.39 - 45.

3. Poleshhenko K.N., Korotaev D.N., Tarasov E.E. Strukturno-morfologicheskie osobennosti nanostrukturnykh topokompozitnykh pokrytij tribotekhnicheskogo naznacheniya [Structural-morphological features of nanostructural topokompozitny coverings of tribotechnical appointment]. *Vestnik SibADI*, no. 4 (50), 2016 pp.126-132.

4. Vstovskij G.V., Kolmakov A.G., Bunin I.ZH. *Vvedenie v mul'tifraktal'nuyu parametrizatsiyu struktur materialov* [Introduction to multifractal parametrization of material structures]. Moscow, Izhevsk: nauchno-izdatel'skij tsentr «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika». 2001. 116 p.

5. Korotaev D.N., Ivanova E.V., Kim V.A. Fractal parametrization in erosion process and surface investigation received by electrospark modification. *Journal of Physics: Conference Series*, no. 858 (2017) C. 012016.

6. Rusinov P.O., Blednova ZH.M. Strukturnye i tekhnologicheskie zakonomernosti formirovaniya poverkhnostnykh sloev iz materialov s ehffektom pamyati formy vysokoskorostnym gazoplamennym napyleniem [Structural and technological regularities in the formation of surface layers from materials with shape memory effect by high-speed gas-flame deposition]. *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*, 2014, no. 6, pp. 322-329.

7. GOST 23.211-80 – «Obespechenie iznosostojkosti izdelij. Metod ispytanij materialov na iznashivanie pri frettinge i fretting-korrozii» [State standart 23.211-80 - "Provision of wear resistance of products. Method for testing materials for wear during fretting and fretting corrosion.].

***Поступила 24.11.2017, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Коротаев Дмитрий Николаевич – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве», ФГБОУ ВО СибАДИ (644080, г.Омск, пр-т Мира, 5, e-mail: korotaevd99@mail.ru).*

*Korotaev D. Nikolaev (Omsk, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Economy and Project Management in Transport Construction", SIBADI (644080, Omsk; 5, Mira Ave., e-mail: korotaevd99@mail.ru).*

*Полещенко Константин Николаевич (Омск, Россия) – д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник Омского научно-исследовательского института организации и технологии производства двигателей (НИИД) (644021, г. Омск, ул. Богдана Хмельницкого, 283, e-mail: oniid@mail.ru).*

*Poleshchenko K. Nikolaev (Omsk, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Omsk Institute of the Organization and Production Technology of Engines (644009, Omsk; 195/18, 10 years of October St., e-mail: omsk@rea.ru).*

*Гринберг Петр Борисович (Омск, Россия) – генеральный директор Омского научно-исследовательского*

*института организации и технологии производства двигателей (644021, г. Омск, ул. Богдана Хмельницкого, 283, e-mail: oniid@mail.ru).*

*Grinberg P. Borisov (Omsk, Russia) – CEO of Omsk Institute of the Organization and Production Technology of Engines (644021, Omsk; 283, Bogdan Khmelnytsky St., e-mail: oniid@mail.ru).*

*Тарасов Евгений Евгеньевич (Омск, Россия) – инженер ФГУП ФНПЦ «Прогресс». (644018, г. Омск, ул. Кордная 5-я, 4, e-mail: info@progress-omsk.ru).*

*Tarasov E.Evgeniev (Omsk, Russia) – engineer of the Federal State Unitary Enterprise «Progress» (644018, Omsk; 4, the 5th Kordnaya St., e-mail: info@progress-omsk.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Коротаев Д.Н. Планирование эксперимента, цифровая обработка изображений, расчет спектров мультифрактальных размерностей, анализ экспериментальных результатов, оформление статьи.*

*Полещенко К.Н. Инициация работы, постановка задачи, получение электронно-микроскопических изображений структур, анализ экспериментальных результатов.*

*Гринберг П.Б. Ионно-плазменное напыление поверхностей, получение экспериментальных данных.*

*Тарасов Е.Е. Обработка экспериментальных данных.*

УДК 629.113.004 (083.5)

# НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

***В.М. Курганов[1], А.Н. Дорофеев[2], В.М. Грязнов[3]***

*[1]ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» г. Тверь, Россия;*

*[2]ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Москва, Россия;*

*[3]ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Одним из направлений сокращения затрат на автомобильные перевозки является использование «Норм расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», утвержденных Минтрансом России. Отмечено, что нормирование расхода топлива представляет трудности для персонала в связи с высокой вероятностью ошибок при расчете вручную. В настоящее время отсутствует методика определения поправочных коэффициентов для учета имеющихся условий эксплуатации автомобильного парка.*

***Материалы и методы.*** *Проведены натурные исследования расхода топлива на маршрутах работы автотранспорта с применением спутниковых навигационных систем с целью сбора статистических данных. Для снижения трудоемкости и повышения точности расчетов разработан специализированный программный продукт, названный «Калькулятором расхода топлива».*

***Результаты.*** *Собранные статистические данные позволили определить объективную потребность в топливе. Оценено расхождение с предварительно рассчитанными значениями согласно федеральным нормам. В результате получена и обоснована количественная информация, дающая возможность уточнить коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации автомобилей при расчете расхода топлива. Использование « Калькулятора расхода топлива» позволило повысить культуру управленческой работы, упростить и ускорить работу персонала предприятия с числовыми данными*

***Обсуждение и заключение.*** *Выполненные исследования подтвердили, что при использовании программы расчета расхода топлива снижаются трудозатраты диспетчеров на планирование необходимого количества горючего и денежных средств на его приобретение для совершения транспортной работы. Значительно облегчается определение экономии или перерасхода топлива по итогам работы автомобилей на линии. Результаты расчетов с использованием программы «Калькулятор норм расхода топлива» архивируются в автоматическом режиме и могут быть использованы и проанализированы в любое время. Программа внедрена в компаниях ОАО «Выксунский металлургический завод», ЗАО «Геострой» и ЗАО «Дорстройсервис». Контрольные замеры с применением спутниковых навигационных систем позволяют уточнить поправочные коэффициенты и повысить обоснованность норм.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *топливо, нормы, автомобили, информационные технологии, программные продукты, навигационные системы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Расходы на топливо составляют от 25 до 45% себестоимости грузовых автомобильных перевозок. Предприятия. имеющие в собственности автомобильный парк, используют различные способы сокращения расходов на топливо. Особое место в мероприятиях по экономии топлива и снижению затрат на его приобретение занимают «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», утвержденные Минтрансом России [1].

Прежде всего, они необходимы для определения обоснованной величины себестоимости использования автомобилей транспортного и специального назначения. Экономически

обоснованные затраты, в том числе на использование автомобилей, нужны для расчета размера налогооблагаемой прибыли, а также для прогнозирования потребности в денежных средствах на топливо при планировании работы автомобильного транспорта. Использование норм позволяет проводить работу по снижению затрат на ведение транспортной деятельности.

Согласно «Инструкции по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на автомобильном транспорте» (утв. приказом Минтранса РФ от 24 июня 2003 г.), п. 40:.» Расходы на топливо для автотранспортных средств включаются в состав материальных затрат в расходах по обычным видам деятельности в пределах норм, утверждаемых Минтрансом России, что указывается в учетной политике организации».

Согласно «Налоговому кодексу Российской Федерации», «расходы должны быть экономически обоснованными» (ст. 252). Доказать экономическую обоснованность затрат на топливо можно, в частности, если подтвердить, что они находятся в пределах утвержденных норм расхода топлива)

В методических рекомендациях, утвержденных Минтрансом, приводятся примеры расчетов норм для различных случаев использования автотранспортных средств [1]. Специалисты Научного центра НИИ автомобильного транспорта (НИИАТ) по применению топливно-смазочных и эксплуатационных материалов в транспортном комплексе и Всероссийского НИИ по переработке нефти (ВНИИНП) дают разъяснения по вопросам нормирования и учета факторов, влияющих на величину расхода топлива [2, 3, 4, 5, 6]. Имеются вузовские учебные пособия, рекомендованные как для студентов, так и для практических работников [7]. Проведен ряд исследований для оценки факторов, оказывающих влияние на величину расхода топлива [8, 9]. Тем не менее, в повседневной работе диспетчера нормирование расхода топлива вызывает определенные трудности.

В течение ограниченного времени во время выпуска парка на линию, диспетчеру (в некоторых компаниях эту работу выполняет техник по ГСМ, таксировщик или специалист информационно-технического отдела) необходимо рассчитать планируемый расход топлива согласно запланированному заданию для автомобиля, внести результаты расчета в путевой лист и выдать его водителю [10, 11]. Если автопарк имеет большую численность, то нормирование расхода топлива превращается в серьезную проблему [12].

Аналогичный расчет надо выполнить также при возвращении парка в гараж с линии, чтобы определить нормативную величину расхода топлива согласно фактически выполненной работе за смену [13]. Сравнение этой величины с фактическим расходом топлива дает возможность сделать вывод, перерасходовал ли водитель топливо во время работы на линии.

Логическим завершением нормирования топлива является премирование водителей за соблюдение установленных норм расхода и экономию топлива [14].

В федеральных нормах расхода топлива предусмотрена корректировка базовых значений в зависимости от местных условий эксплуатации. Всего имеется более 25 поправочных коэффициентов. На основе базовых норм по каждой марке автомобиля и с учетом индивидуальных условий его эксплуатации в конкретных дорожно-климатических условиях, особенностей организации транспортного процесса (например, необходимость частых технологических остановок или др.) и количества перевозимого груза рассчитывается транспортная норма. В распоряжении Минтранса отсутствует методика определения поправочных коэффициентов. Приведены рекомендуемые диапазоны, из которых следует выбирать нужное значение, регламентируя его использование приказом по предприятию. Вследствие этого нередко рассчитанные нормы не в полной мере отвечают объективной потребности. Иногда можно встретить мнение, что федеральные нормы завышают объективно необходимый расход топлива для выполнения перевозок, в связи с чем предприятия несут неоправданные потери, тогда как служба эксплуатации устраняется от работы по контролю расхода топлива и его экономии, а водители имеют возможность использовать «сэкономленное» топливо в личных целях.

Решить названные проблемы использования на предприятиях федеральных норм расхода топлива можно, как подтверждает практический опыт и проведенные исследования [12], с помощью информационных систем, являющихся компонентами Transportation Management System для планирования работы парка и контроля его работы на линии.

## МЕТОДЫ

Компанией «Борника» с участием и под руководством одного из авторов статьи[1] разработан «Калькулятор норм расхода топлива», который является одним из компонентов программного комплекса «Автобаза». «Калькулятор» предназначен для использования в расчете техтранс-финплана автопредприятия, но может также использоваться самостоятельно, для чего на сайте mehanik.ru компанией «Борника» открыт бесплатный сервис [15]. Имеются также другие сетевые ресурсы, которые можно использовать для расчета норм, однако они носят анонимный характер [16, 17].

Последовательность процедуры использования программы «Калькулятор норм расхода топлива» включает ряд шагов.

В верхней части окна слева выбирается тип автотранспортного средства (рис. 1), что предопределяет используемую расчетную формулу.

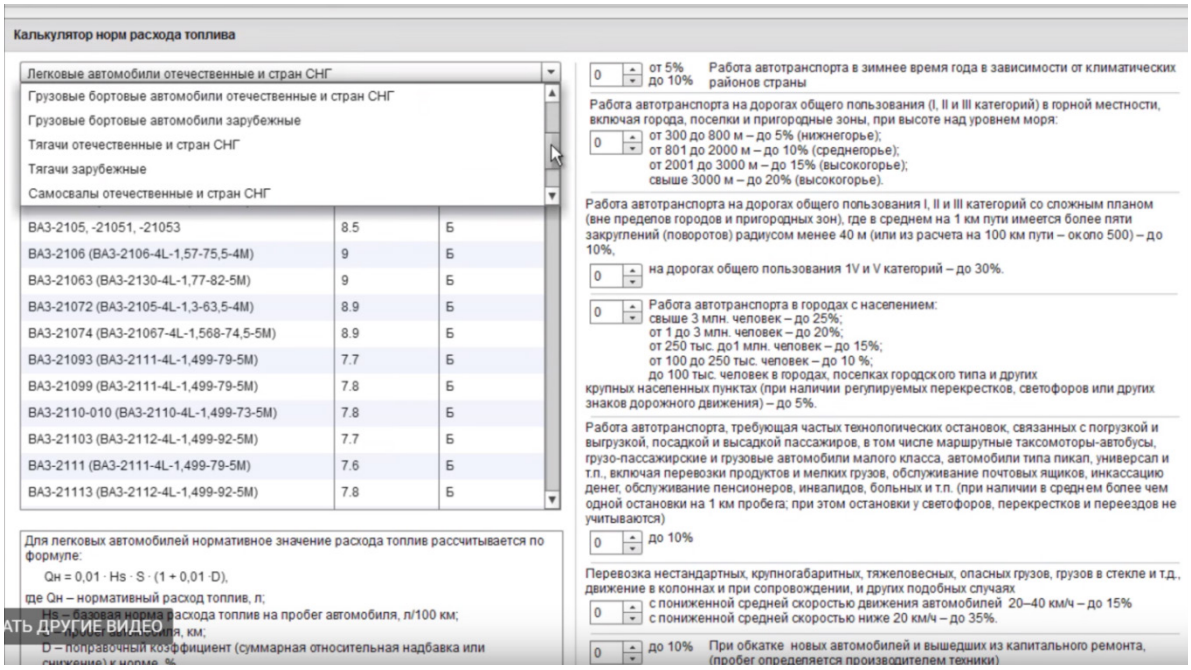



*Рисунок 1 – Выбор типа автотранспортного средства*
*Figure 1 – Selection of the vehicle type*

Выбираются поправочные коэффициенты к базовой норме. Пусть самосвал КАМАЗ-5511, для которого рассчитывается норма, имеет возраст более 8 лет. Тогда в специальном окне нажатиями мышки назначается поправочный коэффициент до 10%. Нажимается кнопка ОК справа внизу. Аналогичным образом учитываются другие условия эксплуатации и загрузка транспортного средства (рис. 2).

[1] А.Н.Дорофеев

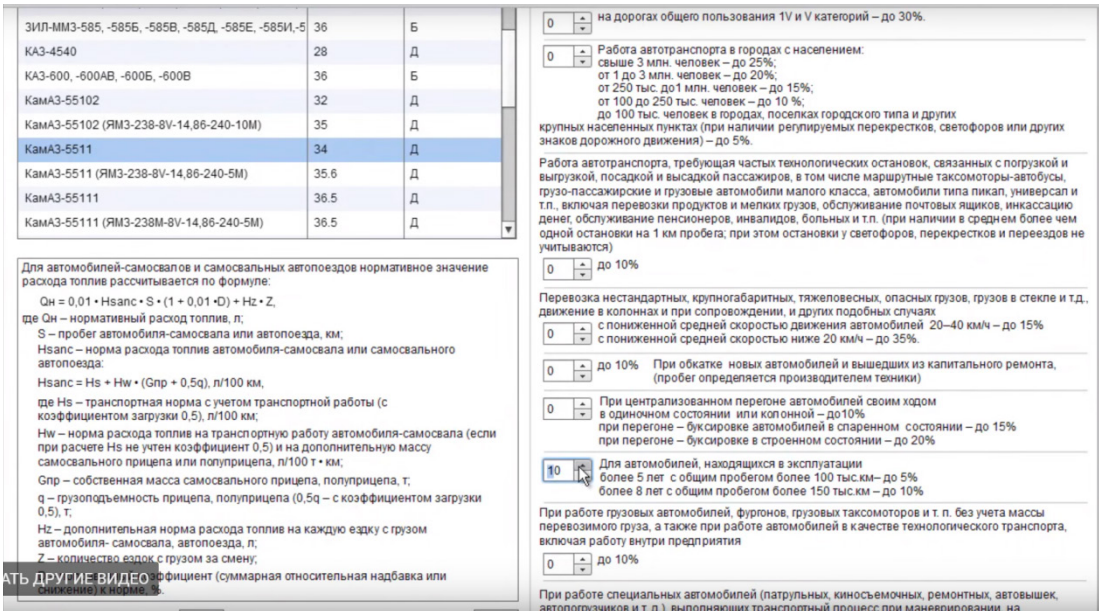



*Рисунок 2 – Выбор марки автотранспортного средства и задание поправочных коэффициентов*
*Figure 2 - Selection of the vehicle brand and setting of the correction coefficients*

Если указать цену топлива и нажать кнопку ОК, то появится необходимая сумма для приобретения топлива (рис. 3).

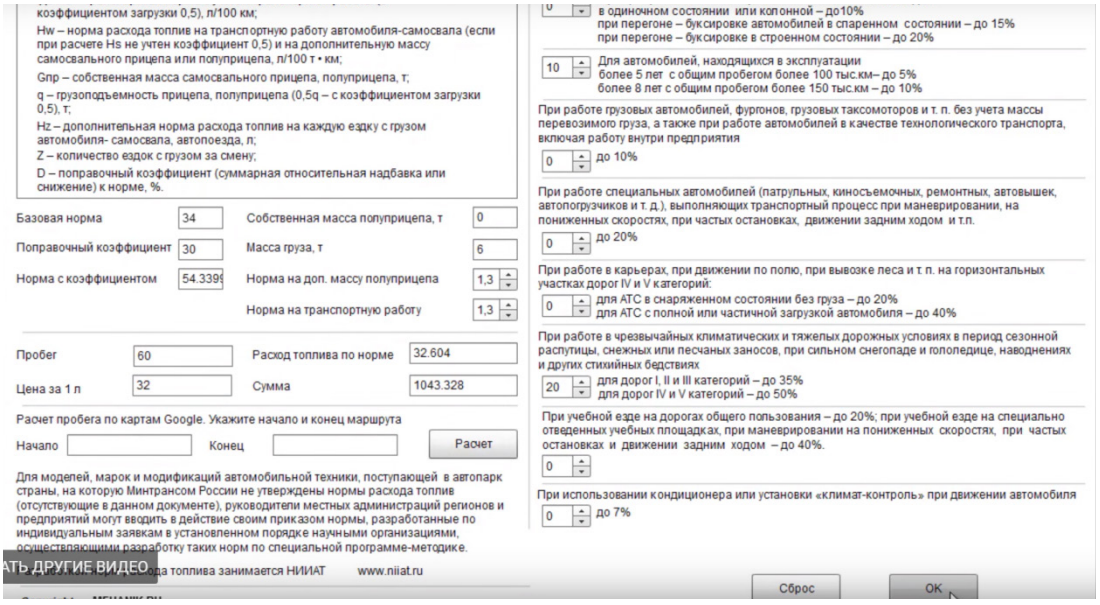



*Рисунок 3 – Расчет стоимости топлива*
*Figure 3 – Calculation of the fuel cost*

После введения начального и конечного пунктов маршрута на карте появится маршрут движения, а в соответствующем окне — значение пробега от Москвы до Смоленска (395 км).

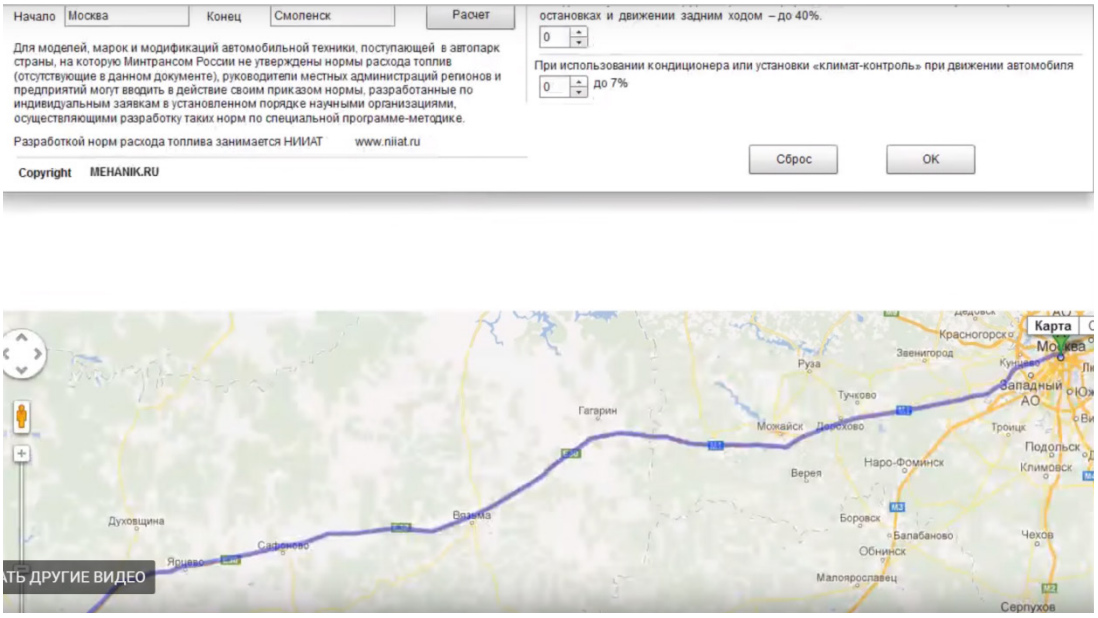



*Рисунок 4 – Прокладка маршрута и расчет пробега*
*Figure 4 – Routing and mileage calculation*

Один из членов авторского коллектива[2] провел исследования на транспортных предприятиях Южного Урала: ЗАО «Южуралавтобан» [18], а также МП «Маггортранс» [19, 20]. В результате предложены следующие этапы расчета норм расхода топлива.

1. Маршруты работы автомобилей разбиваются на маршрутные модули (контрольные участки) по имеющимся условиям эксплуатации (движение в городе, за городом и т.д.) - замер расстояния выполняется с помощью электронных карт или контрольными замерами по одометру при специально организованных выездах.

2. Осуществляется сбор данных о расходе топлива и пробегах автомобилей, у которых параметры (техническое состояние, давление в шинах и т.д.) находятся на необходимом уровне, на выделенных участках рассматриваемых маршрутов в выбранные интервалы времени с учетом изменений загруженности автодорожной сети - с помощью спутниковых навигационных систем мониторинга (или путем контроля специальными учетчиками). При этом желательно контролировать правильность выбора водителем передачи в процессе движения, скоростного режима, пользование отопителем кабины и т.д., чтобы водитель не пытался завысить необходимый расход топлива.

3. С использованием собранных статистических данных (до 20 - 30 замеров) производится расчет средней величины расхода топлива, исходя из объективно необходимой фактической потребности для выполнения задания на перевозку. В принципе, именно эта величина отражает обоснованный уровень нормы расхода топлива.

4. Результаты расчетов сравниваются с результатами, полученными на основе федеральных норм согласно методическим рекомендациям Минтранса России.

5. Проводится уточнение поправочных коэффициентов с целью достижения соответствия норм расхода топлива объективно необходимому количеству топлива для выполнения перевозок.

Участие контролеров-учетчиков резко повышает трудоемкость процедуры и её стоимость, что предопределяет рациональность использования спутниковых навигационных систем. С их помощью можно измерять расстояния, контролировать соблюдение водителями плановых маршрутов и отсутствие нарушений скоростного режима, что необходимо для сбора статистических данных о расходе топлива, объективно необходимого для выполнения транспортной работы в конкретных условиях эксплуатации.

[2] М.В.Грязнов

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатами применения методики являются повышение культуры управленческой работы, упрощение и ускорение работы с числовыми данными.

Сравнение длительности ручного и автоматизированного расчетов нормы расхода топлива приведено в табл. 1 и на диаграмме (рис. 5).

Таблица 1
СНИЖЕНИЕ ТРУДОЗАТРАТ В СЛУЧАЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА
Table 1
REDUCTION OF LABOR COSTS IN CASE OF THE FUEL CONSUMPTION RATES' AUTOMATED CALCULATION

| Этап расчета | Требуемое время, мин. | |
|---|---|---|
| | Расчет диспетчером вручную (при наличии навыков расчета) | Расчет с использованием программы «Калькулятор норм расхода топлива» |
| 1) выбор формулы для расчета нормы расхода топлива для используемого транспортного средства | 1 | 0 (расчетная формула уже заложена в «Калькуляторе») |
| 2) подбор исходных данных для расчета, выбор поправочных коэффициентов и внесение их в расчетные формулы для каждого «расчетного модуля» по условиям движения и транспортной работы («город», «вне города», «технологические перевозки», «тяжелые дорожные условия» , «пробег», «тоннаж» или «тонно-километры» и т.д.) | 3 | 2 (требуется порядка 10 кликов мышкой) |
| 3) выполнение расчетов | 4 | 0 (расчет выполняется автоматически, практически мгновенно) |
| Итого на 1 автомобиль | 8 | 2 |

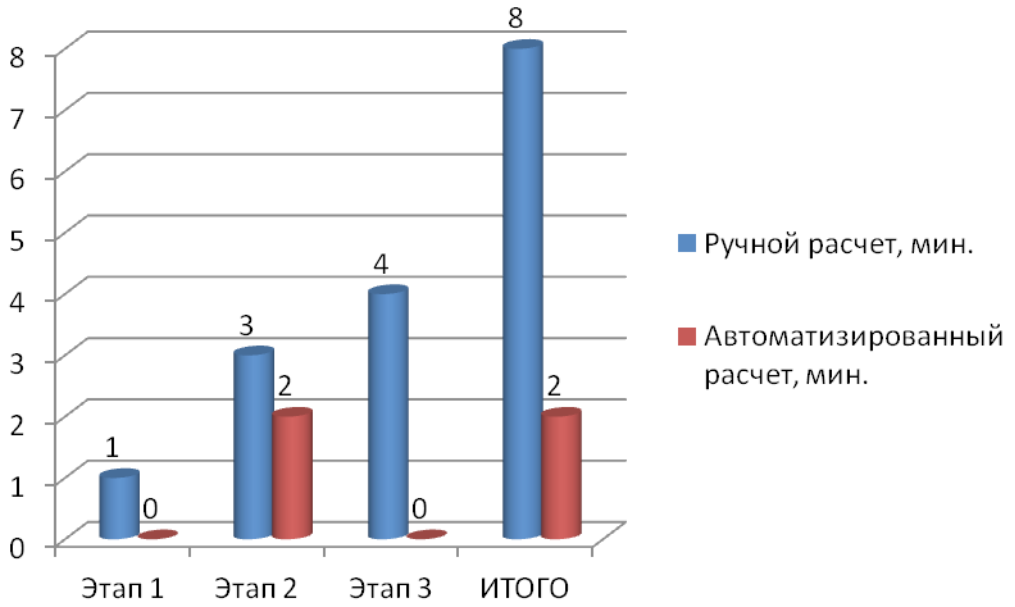



*Рисунок 5 – Сравнение трудозатрат на расчет норм расхода топлива (на 1 автомобиль)*
*Figure 5 – Comparison of labor costs for fuel consumption rates' calculation (per vehicle)*

Сравнительные данные за месячный период в ЗАО «Южуралавтобан» показаны в табл. 2 (всего работало до 36 автосамосвалов). На рис. 6 приведены диаграммы, показывающие отклонение предварительных расчетов согласно методическим рекомендациям Минтранса России от результатов натурных наблюдений [21]. Несоответствие этих величин оценивается так называемым относительным расходом топлива - отношением эксплуатационного расхода к нормативному [22].

Таблица 2
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАМЕРОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМИ РАСЧЕТАМИ НОРМ РАСХОДА ТОПЛИВА СОГЛАСНО РЕКОМЕНДАЦИЯМ МИНТРАНСА
Table 2
COMPARISON OF THE THE CONTROL MEASUREMENTS' RESULTS WITH THE PRELIMINARY CALCULATIONS OF THE FUEL CONSUMPTION RATES ACCORDING TO THE RECOMMENDATIONS OF THE MINISTRY OF TRANSPORT

| Показатель | Наименование объекта дорожного строительства | | | | Итого: |
|---|---|---|---|---|---|
| | Автодорога № 10 | Автодорога № 13 | Автодорога № 14 | Автодорога «Кусимовский рудник» | |
| Среднемесячный суммарный пробег по парку автосамосвалов, тыс. км | 73,27 | 38,03 | 101,59 | 42,82 | 255,71 |
| Суммарный расход топлива по парку автосамосвалов (тыс. л/мес.) с использованием: | | | | | |
| – рекомендаций Минтранса РФ | 34,14 | 17,72 | 47,34 | 19,95 | 119,15 |
| – натурных наблюдений | 32,83 | 16,13 | 39,72 | 18,07 | 106,75 |
| Суммарная экономия, тыс. л в среднем за месяц | | | | | 12,40 |

## ОБСУЖДЕНИЕ

Использование «Калькулятора норм расхода топлива» снижает требования к квалификации, уровню подготовки и имеющимся навыкам персонала. Работа по нормированию топлива существенно упрощается и сводится к нескольким кликам мышкам в рабочем окне персонального компьютера и вводу числовых данных по пробегу и загрузке автомобиля.

В «Калькулятор» встроена цифровая карта, которая позволяет введением начального и конечного пунктов маршрута мгновенно определять расстояние перевозки без предварительного расчета и наглядно видеть трассу движения автомобиля.

Применение программы «Калькулятор норм расхода топлива» позволяет получить ряд положительных результатов в деятельности автотранспортного предприятия.

При расчете диспетчером вручную возможны ошибки. «Калькулятор норм расхода топлива» в расчетах не ошибается. Распространенной ошибкой при расчете вручную является то обстоятельство, что поправочные коэффициенты не суммируют друг с другом, а последовательно умножают базовую норму сначала на один поправочный коэффициент, затем полученный результат - на другой, потом - на третий и т.д. В итоге получается ошибочное значение нормы. Затруднение у диспетчеров может вызывать, например, учет расхода топлива в случае простоя автомобилей с работающим двигателем в пунктах погрузки и разгрузки, когда запрещено выключать двигатель. В этом случае, как и в других аналогичных ситуациях, эти нормы рассчитываются в л/час, а результат расчета надо добавлять к транспортной норме в л/100 км, чтобы получить общее нормативное значение расхода топлива. Нередко из внимания упускается то обстоятельство, что поправочные коэффициенты могут не только повышать базовое значение расхода топлива, но и снижать его. Например, как указано в рекомендациях Минтранса России, при работе на дорогах общего пользования 1, 2 и 3 категории за пределами пригородной зоны на равнинной слабохолмистой местности базовая норма снижается до 15%.

Возможны ошибки при расчете норм для самосвального парка. Для самосвалов в таблице методических рекомендаций Минтранса приводится не базовая норма, а транспортная, которая учитывает нормируемую загрузку самосвала с коэффициентом 0,5 (в прямом

направлении - с грузом, обратно - порожняком). Соответственно, формула для расчета нормы для самосвала отличается от формулы для бортового автомобиля. Базовая норма используется для самосвального парка тогда, когда коэффициент загрузки самосвала более 0,5, то есть он загружается в прямом и обратном направлениях. В этом случае расчет проводится аналогично, как для бортового автомобиля, с поправкой на разницу собственных масс самосвала и бортового автомобиля. Диспетчер может ошибиться в выборе расчетной формулы.

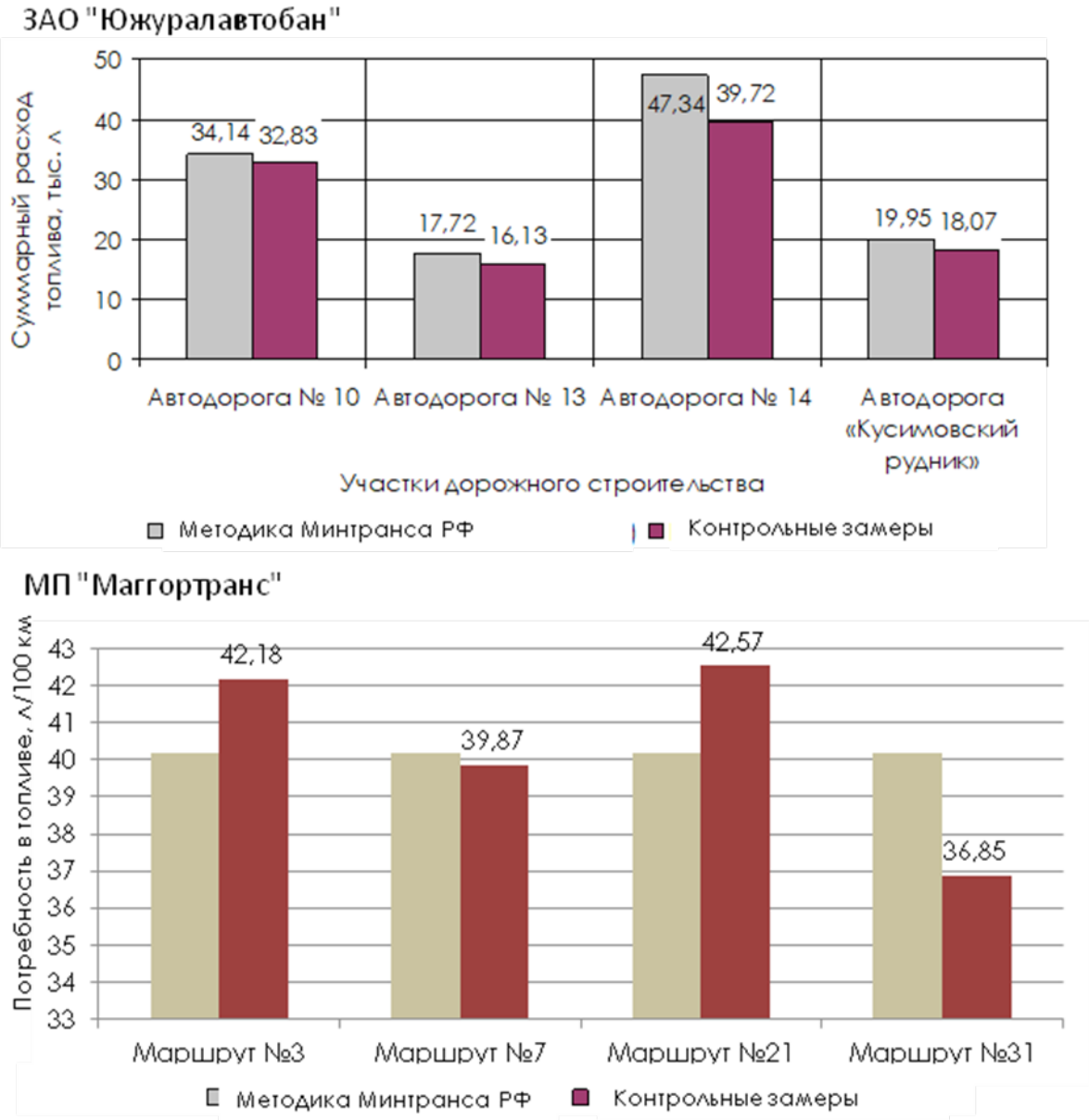



*Рисунок 6 – Сравнение результатов контрольных замеров с предварительными расчетами норм расхода топлива согласно рекомендациям Минтранса России*
*Figure 6 – Comparison of the control measurements' results with the preliminary calculations of fuel consumption rates in accordance with the recommendations of the Ministry of Transport in the Russian Federation*

В современных условиях персонал трудно мотивировать на изучение методики и на выполнение несложных, но кропотливых, требующих внимания, расчетов, так как привлекательность такого труда очень низкая.

«Калькулятор норм расхода топлива» дает возможность не только рассчитывать норму расхода, но также определять требуемые денежные средства на его приобретение.

Допускается не рассчитывать или измерять пробег, а задавать его путем ввода начального и конечного пунктов маршрута и последующей автоматической прокладкой трассы движения по встроенной цифровой карте.

«Калькулятор норм расхода топлива» позволяет заранее рассчитать нормы для имеющихся марок автомобилей применительно к условиям их эксплуатации в конкретной компании и занести результаты расчетов в справочник. Предварительный расчет надо произвести с учетом собственных масс автомобилей, а также прицепов и полуприцепов, если используются автопоезда. Результаты расчетов с использованием программы «Калькулятор норм расхода топлива» архивируются и заносятся в справочник в автоматическом режиме и могут быть использованы в дальнейшем, что также сокращает время на нормирование. При однотипном парке и одинаковых условиях работы рассчитанные нормы можно сразу автоматически записать на несколько автомобилей. При заполнении маршрутного листа для каждого отрезка маршрута указывается признак нормы, и программа сама из справочника потом берет нормы исходя из указанного тоннажа

Такая «привязка» норм к каждой машине по имеющимся маршрутам (без необходимости изменения норм каждый раз диспетчером), дает возможность провести расчеты только один раз, а в дальнейшем использовать их вновь, учитывая только изменения пробега и количества перевозимого груза.

Нормы расхода топлива, рассчитанные согласно методическим рекомендациям Минтранса России, могут иметь отклонения от объективно необходимого количества топлива для выполнения перевозок, рассчитанного на основе специально организованных натурных наблюдений в интервале от минус 6% (нормы Минтранса РФ меньше данных натурных наблюдений) до плюс 16% (нормы Минтранса РФ выше результатов наблюдений).

Уточнение поправочных коэффициентов для расчета норм расхода топлива позволило получить экономию дизельного топлива в размере 12400 литров (на примере работы 36 автомобилей в течение месяца в ЗАО «Южуралавтобан») или, в стоимостном выражении, около 500 тыс.руб. при цене топлива 40 руб./л. В расчете на один автомобиль КАМАЗ-55111 в год экономия составляет 4133 литра дизельного топлива или, в стоимостном выражении, примерно 150 тыс.руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нормирование автомобильного топлива может быть эффективно организовано с использованием информационных технологий. под которыми понимаются программные продукты для автоматизации расчетных операций и спутниковые навигационные системы.

Автоматизация расчета норм расхода топлива обеспечивает значительное сокращение трудоемкости определения объективно необходимого количества топлива при планировании и анализе фактических затрат на выполнение транспортной работы, а также устраняет возможность совершения расчетных ошибок и создает условия для мотивации водителей к экономии топлива при работе на маршрутах.

Из-за отсутствия методики расчета поправочных коэффициентов в зависимости от влияния дорожно-климатических условий, технологических особенностей эксплуатации транспортного средства и прочих факторов возможно отклонение рассчитанных норм от объективно необходимых затрат топлива на работу по конкретным маршрутам.

Сравнение размера экономии топлива в расчете на одно транспортное средство и стоимости системы спутникового мониторинга работы автомобилей на перевозках с целью оперативного контроля и уточнения норм расхода топлива позволяет рассчитывать на срок окупаемости системы спутникового мониторинга менее, чем за полгода эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте (утв. распоряжением Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р; в редакции распоряжений Минтранса России от 14.05.2014 N НА-50-р, от 14.07.2015 N НА-80-р)

2. Курганов В.М. Как нормируется расход топлива. На вопросы отвечает Ф.В.Туровский, к.т.н., директор и научный руководитель Научного центра НИИАТ «Применение топливно-смазочных и эксплуатационных материалов в транспортном комплексе» / Курганов В.М. // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2005. №7. С. 59 - 67.

3. Туровский Ф.В., Булатников В.В. Сезонное применение автомобильного дизельного горючего // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2006. №11. С. 68 - 79.

4. Туровский Ф.В., Емельянов В.Е. Сезонные требования к автомобильным бензинам // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2006. №4. С. 50 - 59.

5. Московкин В.В., Туровский Ф.В., Вохминов Д.Е. Поставить транспортный налог на службу экологии и автопрому // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2008. №5. С. 58 - 63.

6. Емельянов В.Е., Туровский Ф.В., Бакалейник А.М. Влияние качества бензинов на загрязнение атмосферы // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2006. №11. С. 65 - 68.

7. Трофимов А.В., Журавский Б.В., Трофимов Б.С. Нормирование и контроль расхода горюче-смазочных материалов на предприятиях автомобильного транспорта [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие − Электрон. дан. − Омск: СибАДИ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD36.pdf (дата обращения: 23.02.2018)

8. Сарбаев В.И., Суматохин Д.Г. Нормирование расхода топлива городских автобусов // Автотранспортное предприятие. 2010. №10. С. 39-43.

9. Сарбаев В.И., Суматохин Д.Г. Информационные технологии в управлении финансово-хозяйственной деятельностью транспортной компании // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4(35). С. 94-100.

10. Курганов В.М. Логистика. Управление автомобильными перевозками. М.: Книжный мир, 2007. 448 с.

11. Куликов Ю.И., Пугачев И.Н., Шпаков В.Н., Миротин Л.Б. Организация управления автомобильным транспортом: Монография. Владивосток, Дальнаука, 2011. 400 с.

12. Дорофеев А.Н. Эффективное управление автоперевозками (Fleet management): Монография. М.: ИТК «Дашков и К», 2012. 196 с.

13. Дорофеев А.Н. Учет норм расхода топлива // Автотранспортное предприятие. 2006. № 8. С. 37-38.

14. Авдеева И. Перерасход ГСМ? За счет водителя! [Электрон. ресурс]. Юридический справочник руководителя. - 2012. №11. - Режим доступа: http://www.delo-press.ru/articles.php?n=11410 (дата обращения: 23.02.2018)

15. Dorofeev A. Development of internet-based applications for fleet management and logistics. Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Business Informatics, IEEE CBI 2013, 2013. С. 428-432.

16. Нормативное значение расхода топлива. Тягачи отечественные и стран СНГ. Онлайн калькулятор [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://planetcalc.ru/787/ (дата обращения: 23.02.2018)

17. Нормативное значение расхода топлива. Автобусы отечественные и стран СНГ. Онлайн калькулятор [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: http://planetcalc.ru/778/ (дата обращения: 23.02.2018)

18. Грязнов М.В., Санников К.Б., Колобанов С.В. Нормирование расхода дизельного топлива при эксплуатации автосамосвалов // Экономика и производство. 2006. № 3. С. 52-55.

19. Адувалин А.А., Давыдов К.А., Грязнов М.В., Курганов В.М. Нормирование и повышение эффективности технической эксплуатации автобусов (на примере транспорта общего пользования г. Магнитогорска): Монография. Магнитогорск: Изд-во «Магнитогорский Дом печати», 2015. 152 с.

20. Грязнов М.В., Меньщиков Г.В., Адувалин А.А. Опыт МП «Маггортранс» в нормировании расхода топлива на городских автобусных маршрутах // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции/ под ред. Н.С. Захарова. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. С. 37-42.

21. Курганов В.М., Грязнов М.В.Управление надежностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: Монография. Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2013. 318 с.

22. Осипов М., Майборода О. В. О совершенствовании характеристик путевого расхода топлива // Молодой ученый [Электрон. ресурс]. 2011. №4. Т.3. С. 110-112. Режим доступа: https://moluch.ru/archive/27/3120/ (дата обращения: 23.02.2018).

# RATIONING OF FUEL CONSUMPTION WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY

***V.M. Kurganov, A.N. Dorofeev, M.V. Grjaznov***

**ABSTRACT**

***Introduction.*** *One of the directions of expenses on motor transportations' reduction is the usage of such document as «The regulations of the fuels' and lubricants' expenses on motor transport» approved by the Ministry of Transport of the Russian Federation. However, the normalization of fuel consumption is difficult due to the high probability of errors by the manual calculation. Currently, there is no methodology for determining the correction factors for taking into account the existing operating conditions for the stock of vehicles.*

***Materials and methods.*** *Full-scale studies of fuel consumption on the routes of motor transport with the use of satellite navigation systems for the purpose of collecting statistical data are carried out. Moreover, the specialized software product called «The fuel consumption calculator» is developed to reduce the complexity and improve the accuracy of calculations.*

***Results.*** *The collected statistics' data allows to determine the real need of fuel and to estimate the discrepancy with pre-calculated fuel need according to Federal Standards. As a result, quantitative information is obtained and justified, which makes it possible to clarify the coefficients that take into account the operating conditions of vehicles in the calculation of fuel consumption. In addition, the*

*usage of «The fuel consumption calculator « allows to improve the management culture, to simplify and accelerate the work of the enterprise staff with numerical data.*

***Discussion and conclusion.** It can be concluded that the confirmed researches prove that the fuel consumption calculation program allows to reduce the labor expenditures of the vehicles' operators on the scheduling process of the fuel and money expenses for vehicles' transportation work. It is also easier to determine the saving or overspending of fuel due to the results of vehicles' work on the line. The program «The fuel consumption calculator « is introduced in JSC «Vyksa metallurgical plant», CJSC «Geostroy», CJSC "Dorstroyservice". Control measurements with the use of satellite navigation systems also allow to specify correction factors and to increase validity of norms.*

**KEYWORDS:** *fuel, norms, cars, information technologies, software, navigation systems.*

## REFERENCES

Normy rashoda topliv i smazochnyh materialov na avtomobil'nom transporte [Consumption rates of fuels and lubricants in road transport] (utv. rasporjazheniem Mintransa Rossii ot 14 marta 2008 g. № AM-23-r; v redakcii rasporjazhenij Mintransa Rossii ot 14.05.2014 N NA-50-r, ot 14.07.2015 N NA-80-r).

2. Kurganov V.M. Kak normiruetsja rashod topliv [How to normalize fuel consumption]. Na voprosy otvechaet F.V.Turovskij, k.t.n., direktor i nauchnyj rukovoditel' Nauchnogo centra NIIAT «Primenenie toplivno-smazochnyh i ekspluatacionnyh materialov v transportnom komplekse» Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo, 2005, no. 7, pp. 59 - 67.

3. Turovskij F.V., Bulatnikov V.V. Sezonnoe primenenie avtomobil'nogo dizel'nogo gorjuchego [Seasonal use of automotive diesel fuel] Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo, 2006, no.11, pp. 68 - 79.

4. Turovskij F.V., Grishin N.N., Emel'janov V.E. Sezonnye trebovanija k avtomobil'nym benzinam [Seasonal requirements for motor gasoline] Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo, 2006, no. 4, pp. 50 - 59.

5. Moskovkin V.V., Turovskij F.V., Vohminov D.E. Postavit' transportnyj nalog na sluzhbu jekologii i avtopromu [Put a transport tax on the service of the environment and the automotive industry] Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo, 2008, no. 5, pp. 58 - 63.

6. Emel'janov V.E., Turovskij F.V., Bakalejnik A.M. Vlijanie kachestva benzinov na zagrjaznenie atmosfery [The influence of the quality of gasoline on air pollution] Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo, 2006, no. 11, pp. 65 - 68.

7. Trofimov A.V., Zhuravskij B.V., Trofimov B.S. Normirovanie i kontrol' rashoda gorjuche-smazochnyh materialov na predprijatijah avtomobil'nogo transporta [Regulation and control of consumption of fuels and lubricants at the enterprises of motor transport] [Jelektronnyj resurs]: uchebno-metodicheskoe posobie. Jelektron. dan. Omsk: SibADI, 2015. 46 p. Available at: http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD36.pdf (accessed: 23.02.2018)

8. Sarbaev V.I., Sumatohin D.G. Normirovanie rashoda topliva gorodskih avtobusov [Regulation of fuel consumption of city buses]. Avtotransportnoe predprijatie, 2010, no. 10, pp. 39-43.

9. Sarbaev V.I., Sumatohin D.G. Informacionnye tehnologii v upravlenii finansovo-ho jajstvennoj dejatel'nost'ju transportnoj kompanii [Information technology in the management of financial-economic activity of a transport company]. Mir transporta i tehnologicheskih mashin, 2011, no. 4(35), pp. 94-100.

10. Kurganov V.M. Logistika. Upravlenie avtomobil'nymi perevozkami [Logistics. Management of road transport]. Moscow, Knizhnyj mir, 2007. 448 p.

11. Kulikov Ju.I., Pugachev I.N., Shpakov V.N., Mirotin L.B. i dr. Organizacija upravlenija avtomobil'nym transportom [How to normalize fuel consumption] Monografija. Vladivostok, Dal'nauka, 2011. 400 p.

12. Dorofeev A.N. Jeffektivnoe upravlenie avtoperevozkami (Fleet management) [Effective management of road transport] Monografija. Moscow, ITK «Dashkov i K», 2012. 196 p.

13. Dorofeev A.N. Uchet norm rashoda topliva [Records of fuel consumption] Avtotransportnoe predprijatie. 2006. no. 8, pp. 37-38.

14. Avdeeva I. Pererashod GSM? Za schet voditelja! [Overrun fuel? At the driver's expense!] Juridicheskij spravochnik rukovoditelja. 2012. no. 11. Available at: http://www.delo-press.ru/articles.php?n=11410 (accessed: 23.02.2018).

15. Dorofeev A. Development of internet-based applications for fleet management and logistics. Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Business Informatics, IEEE CBI 2013, 2013, pp. 428-432.

16. Normativnoe znachenie rashoda topliva. Tjagachi otechestvennye i stran SNG [The normative value of fuel consumption. Tractors of domestic and CIS]. Onlajn kal'kuljator [Jelektron. resurs]. Available at: http://planetcalc.ru/787/ (accessed: 23.02.2018).

17. Normativnoe znachenie rashoda topliva. Avtobusy otechestvennye i stran SNG [The normative value of fuel consumption. Buses of domestic and CIS]. Onlajn kal'kuljator [Jelektron. resurs]. Available at: http://planetcalc.ru/778/ (accessed: 23.02.2018).

18. Grjaznov M.V., Sannikov K.B., Kolobanov S.V. i dr. Normirovanie rashoda dizel'nogo topliva pri ekspluatacii avtosamosvalov [Regulation of diesel fuel consumption during operation of dump trucks] Jekonomika i proizvodstvo, 2006, no. 3, pp. 52-55.

19. Aduvalin A.A., Davydov K.A., Grjaznov M.V., Kurganov V.M Normirovanie i povyshenie jeffektivnosti tehnicheskoj ekspluatacii avtobusov (na primere transporta obshhego pol'zovanija g. Magnitogorska): Monografija [Rationing and improving the efficienc of technical operation of buses (on the example of public transport in Magnitogorsk)]. Magnitogorsk: Izd-vo «Magnitogorskij Dom pechati», 2015. 152 p.

20. Grjaznov M.V., Men'shhikov G.V., Aduvalin A.A. Opyt MP «Maggortrans» v normirovanii rashoda topliva na gorodskih avtobusnyh marshrutah [Experience of «Maggortrans» in normalization of fuel consumption on urban bus routes] Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii/ pod red. N.S. Zaharova. Tjumen': TjumGNGU, 2011, pp. 37-42.

21. Kurganov V.M., Grjaznov M.V. Upravlenie nadezhnost'ju transportnyh sistem i processov avtomobil'nyh perevozok [Reliability management of transport systems and road transport processes]: Monografija. Magnitogorsk: Magnitogorskij dom pechati, 2013. 318 p.

22. Osipov M., Majboroda O.V. O sovershenstvovanii harakteristik putevogo rashoda topliva [On the improvement of the characteristics of the track fuel consumption]. Molodoj uchenyj [Jelektron. resurs]. 2011. no. 4. T.3, pp. 110-112.

***Поступила 26.02.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Курганов Валерий Максимович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математики, статистики и информатики в экономике, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170100, г. Тверь, Желябова, 33, e-mail: glavreds@gmail.com).*

*Kurganov Valeriy Maksimovich (Tver, the Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematics, Statistics and Informatics in Economy, Tver State University. (170100, Tver, 33 Zhelyabova St., e-mail: glavreds@gmail.com).*

*Дорофеев Алексей Николаевич (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации». (105187, Москва, ул. Щербаковская, 38, e-mail: adorofeev@hse.ru).*

*Dorofeev Aleksey Nikolaevich (Moscow, the Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business and Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation (105187, Moscow, 38 Shcherbakovskaya St., e-mail: adorofeev@hse.ru).*

*Грязнов Михаил Владимирович (Магнитогорск, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и управления транспортными системами, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». (455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, e-mail: gm-autolab@mail.ru).*

*Gryaznov Mikhail Vladimirovich (Magnitogorsk, the Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Business and Informatics, Magnitogorsk State Technical University. (455000, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, 38 Lenin Ave., e-mail: gm-autolab@mail.ru).*

## ВКЛАД СОАВТРОВ

*Курганов В.М. 34% (организация работы авторского коллектива, оценка экономического эффекта, написание и редактирование статьи).*

*Дорофеев А.Н. 33% (создание программного продукта для расчета потребности в автомобильном топливе).*

*Грязнов М.В. 33% (выполнение натурных исследований на маршрутах работы автомобилей, обработка статистической информации).*

УДК 656.1

# ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРОДЕ ОМСКЕ

***С.М. Мочалин, М.Е. Каспер***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *В статье приводится оценка результативности функционирования муниципальных пассажирских предприятий г.Омска, проведённая с использованием разработанной авторами классификационной модели показателей результативности пассажирских предприятий. Для проведения оценки результативности были использованы отчётные показатели деятельности муниципальных предприятий городского пассажирского транспорта г. Омска, опросы экспертов-руководителей департамента транспорта и предприятий.*

***Материалы и методы.*** *Множество показателей результативности функционирования предприятия (перевозчика) определяется по предлагаемой классификационной модели. Для оценки результативности применяются: модель индексного нормирования, коэффициенты Спирмена и Кендалла, обобщённой и положительной результативности. Формализованной основой служит мера результативности в виде ранжированного по приоритетности эталонного ряда оценок темпов роста плановых показателей, т.е. установленного набора рангов «плана» показателей.*

***Результаты.*** *Анализ результатов работы муниципальных предприятий проводится в динамике. По результатам расчётов можно отметить, что с наибольшей результативностью автотранспортные предприятия работали в 2014 г., а электротранспорт – в 2016 г. В 2015 г. большинство предприятий работали нерезультативно, что связано с экономической ситуацией в регионе. В 2016 г. предприятия стали наращивать свою результативность, таким образом наблюдается положительная динамика результативности работы муниципальных предприятий.*

***Обсуждение и заключение.*** *Анализ результатов работы муниципальных предприятий в г. Омске определил возможность применения авторских научно-обоснованных решений как инструмент для оценки результативности систем и подсистем пассажирского транспорта, в том числе пассажирских предприятий. Инструмент позволяет осуществлять интегральную оценку результатов деятельности пассажирских предприятий за определённый период, выявлять отклонения в работе, управлять процессами на предприятии, может быть использован в практике работы пассажирских предприятий.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *результативность, пассажирские перевозки, пассажирское предприятие, модель индексного нормирования, коэффициенты Спирмена и Кендалла.*

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ теоретических положений и выявленных зависимостей, приведённый в работах [1, 3, 4, 8], позволил авторам разработать методику оценки результативности функционирования систем общественного пассажирского транспорта.

Для проведения оценки результативности по данной методике были использованы отчётные показатели деятельности муниципальных предприятий городского пассажирского транспорта г. Омска, опросы экспертов-руководителей департамента транспорта и предприятий. Опросы ставили перед собой две задачи: 1) определить набор наиболее значимых показателей результативности муниципального предприятия среди отчётных показателей (с учётом не только экономической эффективности, финансового результата, прибыли, но и с учётом конкурентоспособности за счёт качества услуг) и 2) ранжировать показатели от наиболее значимого к наименее значимому. На основании предоставленных данных было сформировано множество показателей для оценки результативности муниципальных предприятий города (представлены на рис. 1 со значениями данных для ПП № 4) и произведена оценка результативности. Практическое

применение методики оценки результативности осуществлено с помощью программных инструментов, которые позволяют автоматизировать расчёты, сокращать время на обработку данных и вывод результирующей информации.

Муниципальные предприятия г. Омска – это четыре пассажирских автотранспортных предприятия, выполняющие перевозки автобусами большой вместимости: ПАТП № 2, ПП № 4, ПП № 7, ПП № 8 и предприятие электротранспорта МП «Электрический транспорт» (ЭТ), которое включает одно троллейбусное депо и одно трамвайное депо. Сфера деятельности муниципальных предприятий – осуществление пассажирских перевозок в городском и пригородном сообщении [2, 7]. Из-за недостатка финансирования муниципальные предприятия г. Омска не могут обслуживать пассажиров с сохранением надлежащего качества и в таких условиях вынуждены передавать некоторые маршруты на обслуживание частным перевозчикам, которые являются более конкурентоспособными и востребованными для пассажиров. В муниципальных предприятиях продолжают эксплуатироваться до сих пор транспортные средства с абсолютным износом, срок их эксплуатации достигает 20 лет. Частные перевозчики, работающие в режиме городского автобуса с предоставлением проезда по льготным транспортным картам и иногда по единому проездному билету, оказывают услуги на многих маршрутах наряду с муниципальными перевозчиками на этих же маршрутах. Один и тот же маршрут могут обслуживать муниципальный перевозчик по регулируемому тарифу, частный перевозчик по регулируемому и по нерегулируемому тарифу.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Классификационная модель для определения множества показателей результативности функционирования предприятия (перевозчика) и эталонного ранжирования показателей с присвоением ранга «план» $R_{ni}$ представлена в работе [8].

Систематизированные показатели работы предприятий следует ранжировать в порядке значимости в первую очередь для пассажира, затем – для заказчика услуг, и только в последнюю очередь для предприятия, так как результативность в рыночных условиях – это не только хороший финансовый результат, но и конкурентоспособность предприятия по качеству услуг и объёму дотаций. В результате формируется аналитическая модель в виде эталонного ранга показателей. Сформированное множество показателей результативности приведено на рисунке 1.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Группа** | **Показатели результативности: расчёт** | **ед.изм.** | **план** | **факт** | **рост "факт"** | **ранг "план"** |
| 2 | **Группа 1 (К-Э-О)** | Коэффициент регулярности | | 1,000 | 0,949 | 0,949 | 1 |
| 3 | | Коэффициент выпуска | | 0,643 | 0,451 | 0,701 | 2 |
| 4 | | Объём перевозок | пасс. | 12253800 | 12254200 | 1,000 | 3 |
| 5 | | Количество погибших в ДТП по вине перевозчи | ед. | 1 | 1 | 1,000 | 4 |
| 6 | | Количество раненых в ДТП по вине перевозчик | ед. | 31 | 30 | 0,968 | 5 |
| 7 | | Количество ДТП общее по вине перевозчика | ед. | 25 | 28 | 1,120 | 6 |
| 8 | | Доля маршрутов с рекомендуемым интервалом | | 0,406 | 0,667 | 1,641 | 7 |
| 9 | **Группа 2 (К-Э)** | Эксплуатационная скорость | км/ч | 18,2 | 18,4 | 1,011 | 8 |
| 10 | | Коэффициент наполняемости | | 0,327 | 0,354 | 1,082 | 9 |
| 11 | **Группа 3 (О-Э)** | Дотации из бюджета | руб. | 150962000 | 150659800 | 0,998 | 10 |
| 12 | | Себестоимость пассажира | руб. | 30,39 | 32,29 | 1,063 | 11 |
| 13 | | Количество рейсов | ед. | 353448 | 328997 | 0,931 | 12 |
| 14 | | Прибыль | руб. | -38757200 | -42206800 | 1,089 | 13 |
| 15 | | Расходы всего | руб. | 390940900 | 395695000 | 1,012 | 14 |
| 16 | | Доходы всего | руб. | 352183700 | 353488200 | 1,004 | 15 |
| 17 | | Доходы собственные | руб. | 142504000 | 142569000 | 1,000 | 16 |
| 18 | | Доходы от проездных | руб. | 36406000 | 36449500 | 1,001 | 17 |
| 19 | | Охват маршрутной сети | % | 17,67 | 12,66 | 0,716 | 18 |
| 20 | **Группа 4 (Э)** | Пассажирооборот | пасс.-км | 50417600 | 50450600 | 1,001 | 19 |
| 21 | | Списочное количество ТС | ед. | 212 | 211 | 0,995 | 20 |
| 22 | | Фондоотдача | | 12,85 | 13,97 | 1,087 | 21 |
| 23 | | Коэффициент техн.готовности | | 0,900 | 0,676 | 0,751 | 22 |
| 24 | | Коэффициент использования пробега | | 0,950 | 0,950 | 1,000 | 23 |
| 25 | | Машино-часы в наряде | ч. | 348684 | 324607 | 0,931 | 24 |
| 26 | | Объём перевозок на 1 ТС | пасс. | 57801 | 58077 | 1,005 | 25 |
| 27 | | Сумма оборотных средств (ОС), затрачиваемая | руб. | 32292000 | 17868000 | 0,553 | 26 |
| 28 | | Среднегодовая стоимость основных производст | руб. | 29710000 | 15521000 | 0,522 | 27 |

*Рисунок 1 – Формирование массива данных*
*Figure 1 – Formation of the data array*

Этап 1. Формирование массива данных с присвоением ранга факта:

1) ввод плановых значений показателей $П_i$ , $П_i \neq 0$;

2) ввод фактических значений показателей $Ф_i$ , $Ф_i \neq 0$;

3) определение темпа роста «факта» показателей $r_{фi}$ [11]:

$$r_{фi} = \frac{Ф_i}{П_i}, \quad (1)$$

где $Ф_i$ – фактическое значение показателя за период;

$П_i$ – плановое значение показателя за период;

4) сортировка таблицы по возрастанию отношений $r_{фi}$;

5) расстановка рангов «факт» $R_{фi}$ в соответствии с отношениями $r_{фi}$;

6) сортировка таблицы по возрастанию ранга «план» $R_{пi}$ (см. рисунок 1).

Этап 2. Оценка связей между показателями

Определяется совместное и раздельное влияние многих взаимосвязанных и одновременно действующих показателей. Данный этап основан на непараметрическом анализе.

Обеспечить измерения близости двух ранговых упорядочений темпов роста (эталонного и фактического) позволяют коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (по отклонениям) и Кендалла (по инверсиям). Коэффициенты дают оценку близости одного рангового ряда к другому на интервале от +1 до –1. Оценка +1 выходит в случае совпадения сравниваемого ряда с плановым, –1 при их полной разнонаправленности (один ряд перевернут по отношению к другому). Положительные значения оценок данных коэффициентов корреляции характеризуют такой режим системы, при котором наблюдается рост уровня реализации функции. Отрицательные значения тех же оценок отражают ситуацию, когда режим системы начинает действовать против уровня реализации функций, снижать его. Оценка, построенная на отклонениях, характеризует объемную сторону изменения результативности при данном режиме – качество деятельности как специфический и самостоятельный признак режима работы целой системы. Оценка, построенная на инверсиях, определяет структурную динамику конечных результатов и показывает эффективность сравниваемых режимов [5, 11].

Данный этап содержит:

1) расчёт коэффициента Спирмена по формуле

$$K_{откл} = 1 - 6 \cdot \frac{\sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (2)$$

где $n$ – количество значений переменных, в частном случае n = 27,

$\sum d_i^2$ – сумма квадратов разностей рангов каждой строки,

$$d_i = R_{пi} - R_{фi}; \quad (3)$$

2) расчёт коэффициента Кендалла по формуле

$$K_{инв} = \frac{4 \cdot R}{n \cdot (n-1)} - 1, \quad (4)$$

где $n$ – количество значений переменных, в частном случае n = 27,

$R$ – сумма рангов,

$$R = \sum_{i=1}^{n} \sum_{\substack{j>i, \\ |R_{фj}| > |R_{фi}|}} 1. \quad (5)$$

$R$ рассчитывается следующим образом: для каждого $R_{фi}$ в строке производится выбор и счёт количества таких значений рангов «факта» $R_{фi}$, которые расположены в строках ниже и по модулю больше, чем данное значение $R_{фi}$, далее вычисляется итоговая сумма этих количеств $R$ ($R$ = 'счёт значений' $\{ R_{ф(i+1)} ... R_{фn} \}$ если $\{ R_{ф(i+1)} ... R_{фn} \} \geq R_{фi}$) [5, 10].

Полученные значения результативности для наглядности можно представить в виде гистограммы *результативности*, где значения оси OX соответствуют значениям эталонного порядка ранга «плана», а величина столбцов OY соответствует значениям ранга «факта» i-го показателя. Пунктирная линия, соответствующая значению фактической результативности, является линейным трендом, аппроксимирующим фактические значения рангов. Чем меньше будет отклонение фактической результативности от эталонной y=x, тем теснее связь между ними, а значит, и выше результативность системы.

Этап 3. Оценка экономического режима системы

На основе сравнения экономических режимов можно определить динамические параметры движения элементов системы в их взаимном отношении. Оценка экономического режима системы в целом содержит расчёт обобщенной и положительной оценок результативности, которые позволяют оценить результативность функционирования системы в целом на основании изменения динамических показателей при наличии взаимосвязи.

1) Расчёт обобщённой оценки результативности:

Обобщенная оценка результативности, полученная на основании двух оценок корреляции (по отклонениям и по инверсиям), определяется по формуле [5]:

$$OP = \frac{(1+K_{откл})\cdot(1+K_{инв})}{4}\cdot 100\%, \quad (6)$$

где $K_{откл}$ – коэффициент ранговой корреляции по отклонениям (Спирмена);

$K_{инв}$ – коэффициент ранговой корреляции по инверсиям (Кендалла).

Величина коэффициента ОР изменяется в диапазоне от 0 до 1.

После того как получена итоговая оценка результативности, необходимо интерпретировать ее содержательное значение. Коэффициент результативности рассчитывается на основе коэффициентов корреляции, диапазон вариации которых от -1 до +1 характеризует отрицательную и положительную результативности, отделенные одна от другой нулевой результативностью. Таким образом, чтобы иметь возможность содержательной интерпретации полученных данных по результативности, необходимо нормировать положительную составляющую результативности на интервале [0,25; 1] [9, 10].

2) Расчёт положительной оценки результативности:

$$ПР = \frac{OP - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}\cdot 100\%, \quad (7)$$

где $OP$ – значение обобщённой результативности, подлежащее вторичному нормированию;

$P_{\max}$ – максимальное значение коэффициента результативности на нормируемом интервале, 1,00;

$P_{\min}$ – минимальное значение коэффициента результативности на нормируемом интервале, 0,25.

На интервале [0; 0,25] ПР=0. Полученные значения результативности в % можно представить в виде графика кривой результативности с величинами значений обобщённой и положительной результативности.

Таким образом, в работе используется модель индексного нормирования, коэффициенты Спирмена и Кендалла, обобщённой и положительной результативности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Определяются коэффициенты Спирмена и Кендалла, обобщённая и положительная результативность для каждого предприятия за период времени (год) [6, 9, 11].

Результаты расчёта коэффициентов представлены для каждого предприятия по годам в таблицах 1 – 5.

Таблица 1
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПАССАЖИРСКОЕ АВТОТРАНСПОРТНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 2»
Table 1
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISE «PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE № 2» EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | 0,184 | 0,015 | 0,018 |
| Коэффициент Кендалла | 0,117 | 0,048 | 0,020 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 33,1 | 26,6 | 26,0 |
| Положительная оценка результативности, % | 10,8 | 2,1 | 1,3 |

Таблица 2
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПАССАЖИРСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 4»
Table 2
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISE «PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE № 4» EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | 0,161 | 0,062 | -0,231 |
| Коэффициент Кендалла | 0,077 | 0,077 | -0,191 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 31,3 | 28,6 | 15,6 |
| Положительная оценка результативности, % | 8,3 | 4,8 | 0 |

Таблица 3
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПАССАЖИРСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 7»
Table 3
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISE «PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE № 7» EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | 0,282 | -0,245 | 0,144 |
| Коэффициент Кендалла | 0,145 | -0,168 | 0,094 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 36,7 | 15,7 | 31,3 |
| Положительная оценка результативности, % | 15,6 | 0 | 8,4 |

Таблица 4
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПАССАЖИРСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 8»
Table 4
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISE «PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE № 8» EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | 0,207 | -0,121 | 0,048 |
| Коэффициент Кендалла | 0,117 | -0,105 | 0,037 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 33,7 | 19,7 | 27,2 |
| Положительная оценка результативности, % | 11,6 | 0 | 2,9 |

Таблица 5
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ»
Table 5
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISE «ELECTRIC TRANSPORT» EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | -0,063 | -0,023 | 0,013 |
| Коэффициент Кендалла | -0,077 | -0,031 | 0,026 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 21,6 | 23,7 | 26,0 |
| Положительная оценка результативности, % | 0 | 0 | 1,3 |

Таблица 6
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Table 6
ASSESSMENT OF THE MUNICIPAL ENTERPRISES' EFFECTIVENESS

| Показатель | Год | | |
|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Спирмена | 2014 | 2015 | 2016 |
| Коэффициент Кендалла | 0,240 | -0,123 | 0,081 |
| Обобщенная оценка результативности, % | 0,140 | -0,094 | 0,066 |
| Положительная оценка результативности, % | 35,3 | 19,9 | 28,8 |

Степень совпадения фактического рангового ряда с планируемым отражена на рисунках 2, 3 в виде гистограмм результативности работы предприятий за 2016 г. Сплошная линия соответствует заданной эталонной результативности y=x. Пунктирная линия является линией тренда, аппроксимирующей фактические значения рангов. Чем больше отклонение фактической результативности от эталонной, тем ниже результативность.

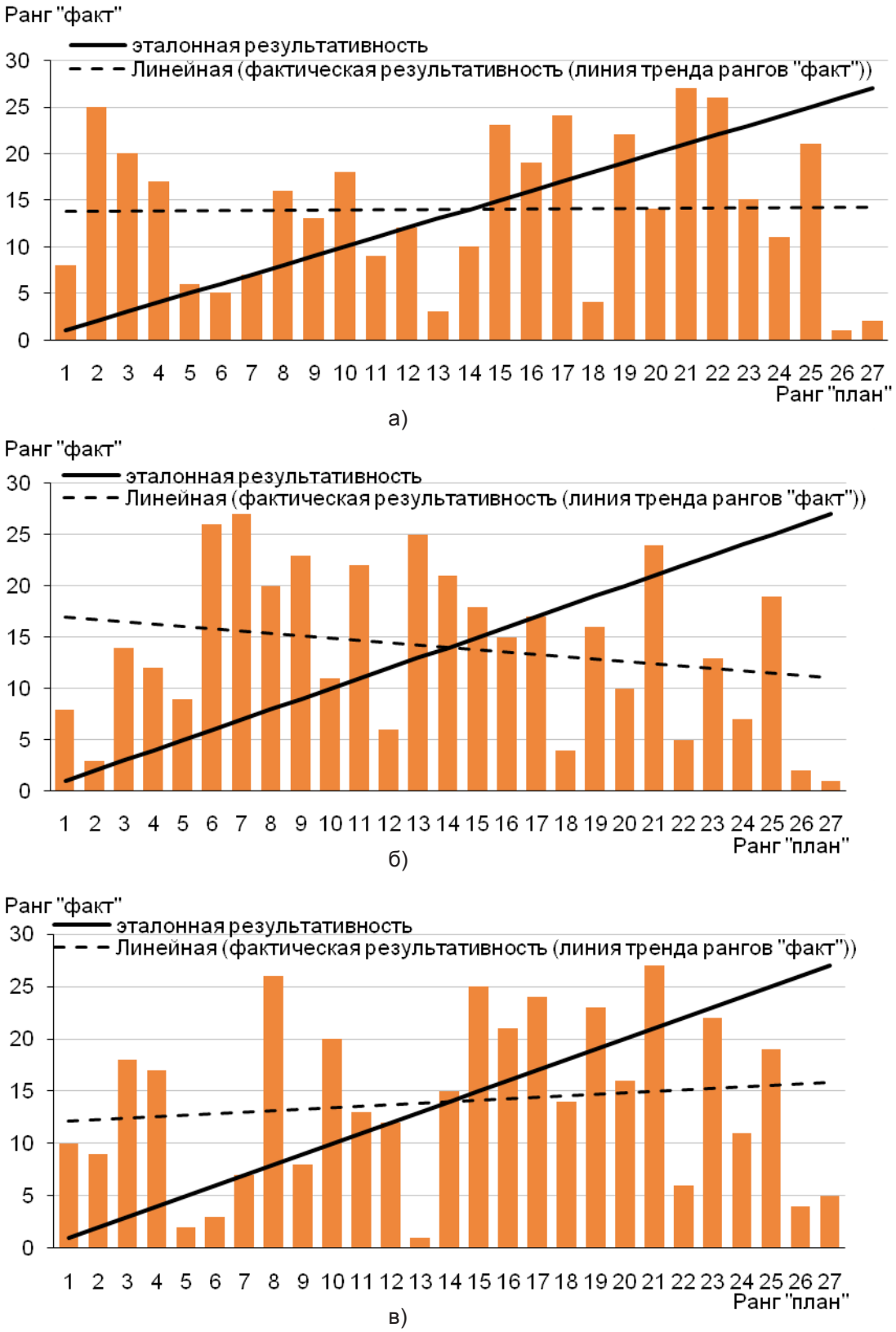



*Рисунок 2 – Гистограммы результативности работы пассажирских предприятий*
*а) ПАТП №2 б) ПП № 4 в) ПП №7*
*Figure 2 – Histograms of the passenger companies' effectiveness*
*a) PATE №2 b) PT № 4 c) PT №7*

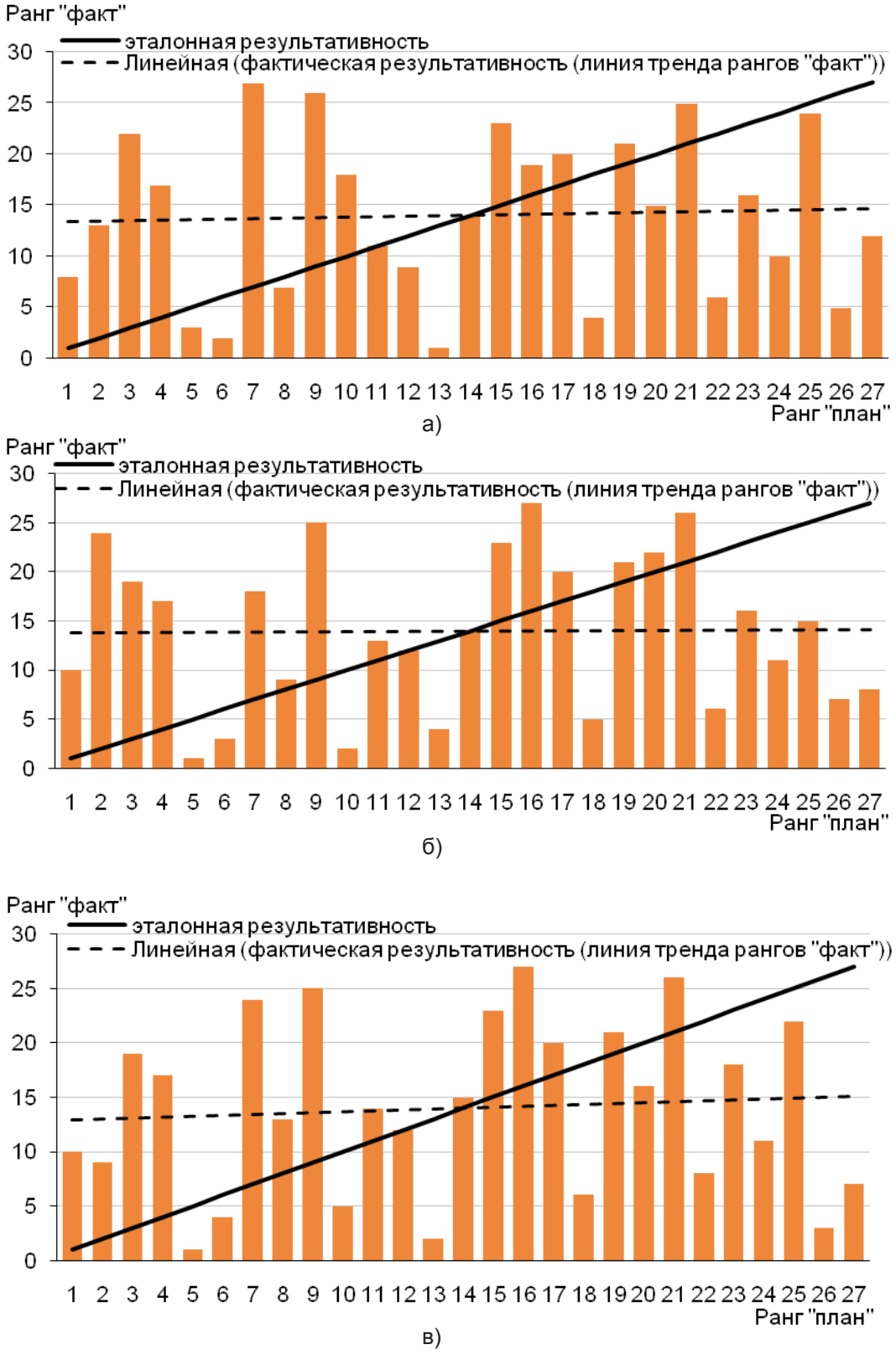
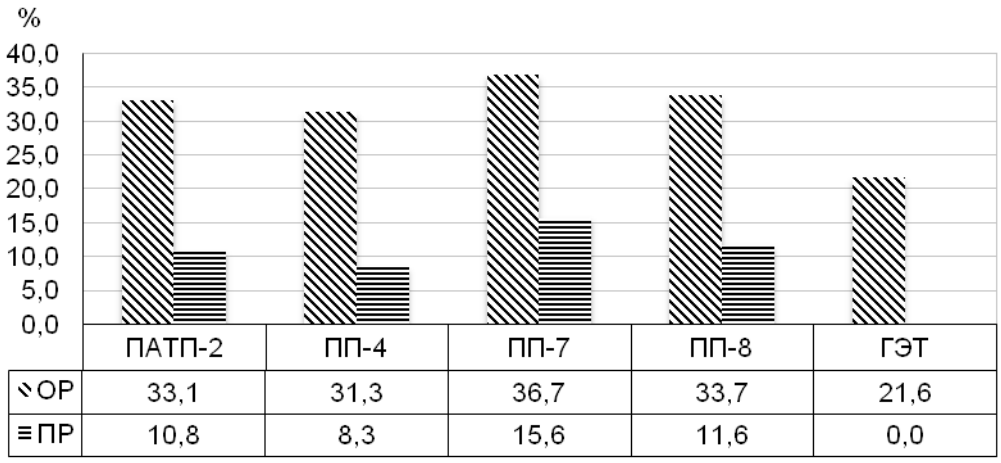


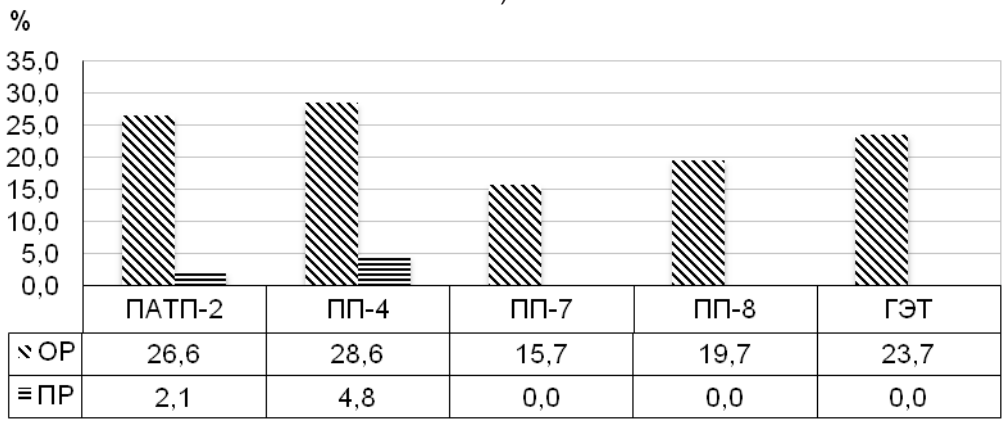

*Рисунок 3 – Результативности работы пассажирских предприятий*
*а) ПП №8 б) ГЭТ в) суммарная*
*Figure 3 – Histograms of the passenger companies' effectiveness*
*a) PT №8 b) ET c) total*

По результатам расчётов и построений графиков отмечается, что пассажирские автотранспортные предприятия работали в период с 2014 по 2016 гг. с наилучшей результативностью в 2014 г. Затем в 2015 г. наблюдается значительное снижение результативности, при этом для ПП № 7 и № 8 характерно такое снижение реализации уровня функций, что функция результативности стала направлена противоположно эталонной, система работа-



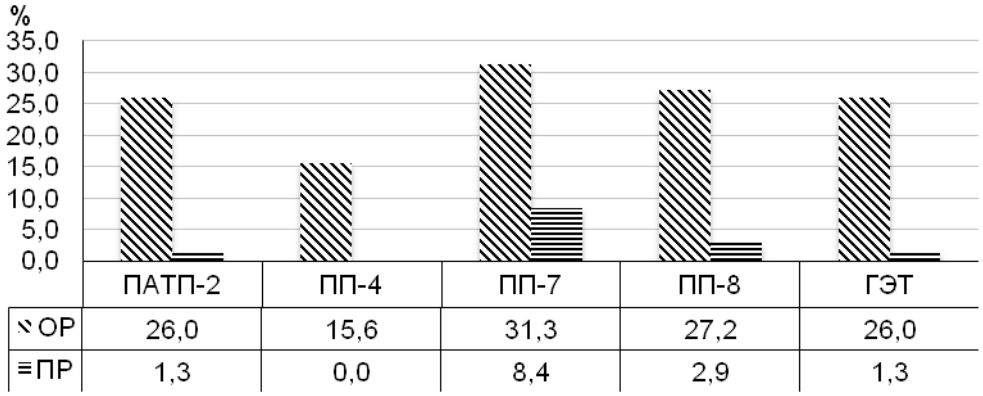

| | ПАТП-2 | ПП-4 | ПП-7 | ПП-8 | ГЭТ |
|---|---|---|---|---|---|
| ОР | 33,1 | 31,3 | 36,7 | 33,7 | 21,6 |
| ПР | 10,8 | 8,3 | 15,6 | 11,6 | 0,0 |

а)




| | ПАТП-2 | ПП-4 | ПП-7 | ПП-8 | ГЭТ |
|---|---|---|---|---|---|
| ОР | 26,6 | 28,6 | 15,7 | 19,7 | 23,7 |
| ПР | 2,1 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

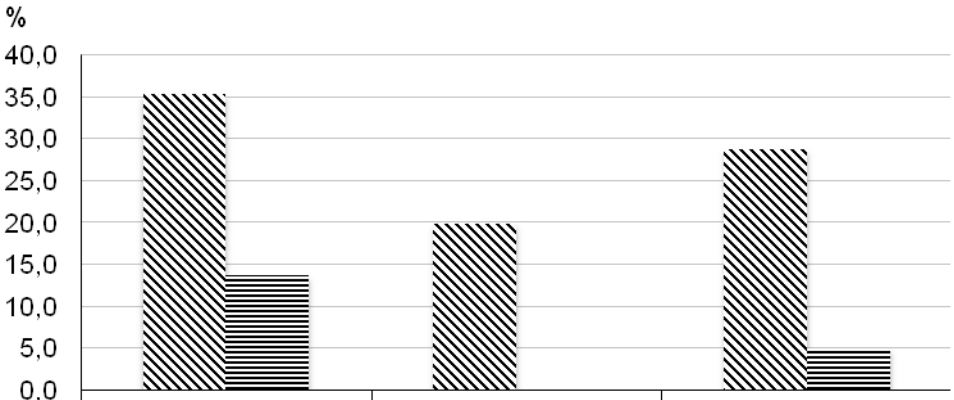
б)




| | ПАТП-2 | ПП-4 | ПП-7 | ПП-8 | ГЭТ |
|---|---|---|---|---|---|
| ОР | 26,0 | 15,6 | 31,3 | 27,2 | 26,0 |
| ПР | 1,3 | 0,0 | 8,4 | 2,9 | 1,3 |

в)

*Рисунок 4 – Результативность режима пассажирских предприятий по годам:
а) 2014 б) 2015 в) 2016
(ОР – обобщённая результативность, ПР – положительная результативность)
Figure 4 – Effectiveness of the passenger enterprises' regime by years
a) 2014 b) 2015 c) 2016
(GE – generalized effectiveness, PE – positive effectiveness)*




| | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|
| ≈ОР | 35,33 | 19,87 | 28,78 |
| =ПР | 13,77 | 0,00 | 5,05 |

*Рисунок 5 – Результативность режима муниципальных предприятий по годам (ОР – обобщённая результативность, ПР – положительная результативность)*
*Figure 5 – Effectiveness of the passenger enterprises' regime by years (GE – generalized effectiveness, PE – positive effectiveness)*

ла в режиме, противоположном тому, который необходим для достижения положительной результативности. В 2016 г. результативность пассажирских автотранспортных предприятий (за исключением ПП № 4) по сравнению с 2015 г. выросла и стала сонаправлена с эталонной, однако в целом результативность автотранспортных предприятий в 2016 г. невелика и значительно ниже по сравнению с 2014 г. Предприятие «Электрический транспорт» в 2014 и 2015 гг. работало с отрицательной результативностью, но с каждым годом повышало свою результативность. В 2016 г. фактическая результативность предприятия показала рост реализации функций и таким образом положительную динамику. По результатам работы муниципальных предприятий можно отметить, что с наибольшей результативностью автотранспортные предприятия работали в 2014 г., а электротранспорт – в 2016 г.

Полученные данные обобщенной результативности (ОР) и положительной результативности (ПР) предприятий по годам представлены графически на рисунках 4, 5.

По результатам построенных диаграмм отмечается, что в 2014 г. наиболее результативно работало ПП №7 (ОР=36,7, ПР=15,6), наименее результативно – предприятие «Электрический транспорт» (единственное предприятие, показавшее в 2014 г. отрицательный результат, ОР=21,6, ПР=0). В 2015 г. наибольшая результативность наблюдается у ПП №4 (ОР=28,6, ПР=4,8), наименьшая – снова у предприятия «Электрический транспорт» (единственное предприятие, показавшее в 2015 г. отрицательный результат, ОР=23,7, ПР=0). В 2016 г. результативнее всего работало ПП №7 (ОР=31,3, ПР=8,4), самая низкая результативность – у ПП №4 (единственное предприятие, показавшее в 2016 г. отрицательный результат, ОР=15,6, ПР=0). В 2016 г. предприятия стали заново наращивать свою результативность, таким образом наблюдается положительная динамика результативности работы муниципальных предприятий.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2014 г. муниципальные предприятия работали наиболее результативно по сравнению с 2015 и 2016 гг. В 2015 г. большинство предприятий работали нерезультативно, что связано с экономической ситуацией в регионе. В 2016 г. предприятия стали заново наращивать свою результативность, таким образом наблюдается положительная динамика результативности работы муниципальных предприятий.

На данном примере анализа результатов работы муниципальных предприятий в г. Омске была определена возможность применения научно-обоснованных решений как инструмента для оценки результативности систем и подсистем пассажирского транспорта, в том числе пассажирских предприятий. В основе положений лежит комплексная модель функционирования системы, модель индексного нормирования, классификационная модель формирования эталонного множества показателей, предложенная авторами. Методика

позволяет выявлять отклонения результативности и динамику процессов и может быть дополнена факторным анализом отклонений результативности для определения причин несоответствий и разработки мероприятий по дальнейшему совершенствованию деятельности всех процессов в системе.Инструмент позволяет осуществлять интегральную оценку результатов деятельности пассажирских предприятий за определённый период, выявлять отклонения в работе, управлять процессами на предприятии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abbas AthumanHozza. Evaluation of performance of passenger road transport companies in Tanzania: The Case of Dar es Salaam City: dissertation of Master of Engineering Management of the University of Dar es Salaam: disput. 02.11.10 / HozzaAthumanAbbas ; supervisor Prof. E. A. Mjema ; University of Dar es Salaam. Tanzania, 2010. 110 p. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.logisticon.cz/files/proceedings/09/reports/972.pdf(д та обращения: 05.02.2018).

2. Mochalin S.M., Kasper M.E., Nikiforov O.A., Levkin G.G. Condition for application of logistic principles in practice of urban public passenger transport in the city of Omsk // Transport problems. Catowice, 2017. pp. 71-86.[Electronic resource]. Access mode by URL: http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2017/zeszytSE/2017t12zSE_07.pdf (дата обращения: 05.02.2018).

3. Vyskupaitis A. Efficienc estimation of transport companies' activity. Transport. 2003. no.18 (2), pp. 61-65. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/16483840.2003.10414067 (датаобращения: 05.02.2018).

4. Walter M. Efficienc and competition in the public transport : Dr. dissertation : disput. 02.02.10 / MattiasWalter; reviewer and supervisor: Prof. Dr. Christian von Hirschhausen; Dresden University of Technology. Dresden, 2010. 163 p. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/2704/Walter_2009_Efficiency_Comp ition_Public_Transport.pdf (дата обращения: 05.02.2018).

5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2004. 479 с.

6. Короткова Е.Н. Оптимизация функционирования транспортного процесса в цепи поставок :дис … кандидата технических наук: 05.22.01: защищена 13.05.10 : утв. 01.09.10 / Е.Н. Короткова; науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. Некрасов ; Московский государственный автомобильно-дорожный институт (технический университет). Москва, 2010. 132 с.: ил.

7. Официальный портал города Омска. Официальный портал Администрации города Омска [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.admomsk.ru/web/guest/government/divisions/36/transport (дата обращения: 05.02.2018).

8. Мочалин С.М., Каспер М.Е. Применение методов оценки результативности функционирования комплексных систем в теории пассажирских автомобильных перевозок // Вестник СибАДИ. 2018. № 1 (59).С. 55-60.

9. Полынская М.М. Оценка результативности системы менеджмента качества предприятия железнодорожного транспорта // Вестник науки Сибири. 2013. № 1 (7). С. 82-89. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sjs.tpu.ru (дата обращения: 05.02.2018).

10. Сыроежин И.М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1980. 192 с.

11. Чувикова В.В. Оценка результативности функционирования прямой цепи поставок : автореферат дис … кандидата экономических наук: 08.00.05 : защищена 21.02.12 / В.В. Чувикова ; науч. рук. д-р. техн. наук, доц. С.М. Мочалин; ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»). Омск, 2012. – 22 с.: ил.

# EVALUATION OF RESULTS OF PUBLIC MUNICIPAL PASSENGER TRANSPORT WORK IN OMSK

***S. M. Mochalin, Maria Ev. Kasper***

### ABSTRACT

***Introduction.*** *The article provides the effectiveness evaluation of the municipal passenger enterprises in Omsk city, carried out according to the classification model of effectiveness indicators for passenger enterprises, which is developed by the authors. Indicators of municipal passenger enterprises in Omsk city, surveys of experts - heads of the Department of Transport and enterprises are used for adequate evaluation.*

***Materials and methods.*** *The set of effectiveness indicators of the enterprise (carrier) is determined by the proposed classification model. The model of indexation, the Spearman and Kendall coefficients, the coefficients of generalized and positive results are used in the article. The formalized basis is a measure of effectiveness in the form of a prioritized benchmark series of the growth indicators estimation, i.e. set of ranks of the "plan" indicators.*

***Results.*** *The analysis of the results of municipal enterprises is carried out in dynamics. It can be noted that with the greatest effectiveness, road transport enterprises operated in 2014, electric transport - in 2016. In 2015, most enterprises worked ineffectively, which was due to the economic situation in the region. In 2016, enterprises began to increase their efficiency, thus, there was a positive dynamic.*

***Discussions and conclusions.*** *The analysis of the results determined the possibility of using scientifically sound solutions as a tool for effectiveness evaluation of the passenger transport's systems and subsystems, including passenger enterprises. Such tool allows to perform an integrated evaluation of the passenger companies' effectiveness for a certain period and also helps to identify deviations in work process and to manage the processes in the enterprise.*

**KEYWORDS:** *effectiveness, passenger transportation, passenger enterprise, model of indexation, Spearman and Kendall coefficients.*

## REFERENCES

1. Abbas AthumanHozza. Evaluation of performance of passenger road transport companies in Tanzania: The Case of Dar es Salaam City: dissertation of Master of Engineering Management of the University of Dar es Salaam: disput. 02.11.10 / HozzaAthumanAbbas; supervisor Prof. E.A. Mjema; University of Dar es Salaam. Tanzania, 2010. 110 p. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.logisticon.cz/files/proceedings/09/reports/972.pd

2. Mochalin S.M., Kasper M.E., Nikiforov O.A., Levkin G.G.Condition for application of logistic principles in practice of urban public passenger transport in the city of Omsk. Transport problems. Catowice, 2017. pp. 71-86. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2017/zeszytSE/2017t12zSE_07.pdf

3. Vyskupaitis A. Efficienc estimation of transport companies' activity. Transport, 2003, no.18 (2), pp. 61-65. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/16483840.2003.10414067(accessed: 05.02.2018).

4. Walter M. Efficienc and competition in the public transport: Dr. dissertation: disput. 02.02.10 / MattiasWalter; reviewer and supervisor: Prof. Dr. Christian von Hirschhausen; Dresden University of Technology. – Dresden, 2010. 163 p. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.qucosa.de/fileadmin data/qucosa/documents/2704/Walter_2009_Efficiency_Competition_Public ransport.pdf

5. Gmurman V.E. Teoriyaveroyatnostejimatematicheskayastatistika [TheoryofProbabilityandMathematicalStatistics]. Moscow, Vysshayashkola, 2004. 479p.

6. Korotkova E.N. Optimizaciyafunkcionirovaniyatransportnogoprocessa v cepipostavok: dis … kandidatatexnicheskixnauk [Optimization of the functioning of the transport process in the supply chain]. Moscow, 2010. 132 p.

7. Oficial'nyj portal gorodaOmska. Oficial'nyj portal AdministraciigorodaOmska. [Officia portal of the city of Omsk. Officia portal of the Administration of the city of Omsk]. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://www.admomsk.ru/web/guest/government/divisions/36/transport

8. Mochalin, S.M., Kasper M.E.Primeneniemetodovocenkirezul'tativnostifunkcionirovanijakompleksnyhsistem v teoriipassazhirskihavtomobil'nyhperevozok[Application of methods for assessing the evaluation of complex systems in the theory of passenger road transport]. VestnikSibADI, 2018, no. 1 (59), pp. 55-60.

9. Polynskaya M.M. Ocenkarezul'tativnostisistemymenedzhmentakachestvapredpriyatiyazheleznodorozhnogotransporta [Evaluation of the effectiveness of the quality management system of the railway transport enterprise]. VestniknaukiSibiri. 2013. no. 1 (7), pp. 82-89. [Electronic resource]. Access mode by URL: http://sjs.tpu.ru

10. Syroezhin, I.M. Sovershenstvovaniesistemypokazatelejjeffektivnostiikachestva [Improvement of the system of indicators of efficienc and quality]. Moscow, Vysshayashkola, 1980. 192p.

11. Chuvikova V.V. Ocenkarezul'tativnostifunkcionirovaniyapryamojcepipostavok [Evaluation of the performance of the direct supply chain]. Omsk, 2012. 22 p.

***Поступила 28.02.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Мочалин С.М. 40% работы, разделы Введение, Результаты (1/2), Обсуждения и заключения (1/2).*

*Каспер М.Е. 60% работы, разделы Аннотация, Материалы и методы, Результаты (1/2) Обсуждения и заключения (1/2).*

# РАЗДЕЛ III.
# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.32

# ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ НЕРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

***В.Ф. Ахтямов, Э.Н. Хафизова***
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», Росиия, г. Тюмень.*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *В статье рассматриваются вопросы использования отходов нерудного производства в составе тяжелых бетонов.*
***Материалы и методы.*** *В исследованиях используется совокупность стандартных методов.*
***Результаты.*** *Изучены физические, химические и гранулометрические характеристики отсевов из карьеров Свердловской и Челябинской областей. Разработаны составы эффективных тяжелых бетонов классов В22, 5 - В40 с применением отсевов дробления щебня и добавок МС-Power Flow и Centrament Air 202. Исследованы структурные свойства и строительно-технические характеристики бетонных смесей и тяжелых бетонов с применением отсевов горных пород. Установлено, что введение добавки МС-Power Flow в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8% (от массы цемента) позволяет снизить жесткость смеси с 26 до 5 сек и способствует созданию плотной контактной зоны у поверхности заполнителя. Определено влияние комплексной добавки на поровые параметры тяжелого бетона и на морозостойкость образцов с применением отсева от горных пород в качестве мелкого заполнителя. Получены образцы тяжелого бетона марки по морозостойкости F300.*
***Обсуждения и заключения.*** *Выполнена оценка экономической эффективности применения отсевов от дробления горных пород в составе тяжелых бетонов и проведена опытно-промышленная апробация на предприятии ЖБИ Тюменской области.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *отходы нерудного производства; строительные материалы; отсевы дробления щебня, тяжелый бетон.*

## ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль в России в последние десятилетия показывает бурный рост, что в итоге создает большую потребность в сырьевых материалах. На данный момент этот вопрос решается с применением классических материалов, таких как природный песок, но высокий спрос и растущая нагрузка на окружающую среду создают потребность в качественной альтернативе этому материалу. По всем характеристикам и удельной стоимости отсев от дробления щебня способен создать конкуренцию песку в качестве мелкого заполнителя для тяжелых бетонов [1,2,3,4,5].

Отсев от дробления щебня – это неорганический сыпучий материал, полученный в процессе переработки плотных горных пород на щебень, с минимальным размером зерен, равным 5 мм [6,7,8,9,10,11,12]. Процент выхода отсева при производстве щебня очень высок, на данный момент это порядка 20–30% по массе [9]. Применение инновационных технологий дробления с использованием новых разработок в области дробилок позволяет снизить количество отходов, но тем не менее проблема остается актуальной.

В настоящее время этот материал находит ограниченное применение, а именно: в строительстве асфальтобетонных дорог, при отсыпке железнодорожных путей [8]. Новым направлением применения является использование отсева в сухих строительных смесях (ССС) и керамической промышленности. Сдерживающим фактором использования отсевов от дробления щебня часто является малая изученность его свойств, особенно при применении его в тяжелых цементных бетонах.

Отсевы дробления имеют значительные различия: порой отсев от разных производителей сильно отличается по форме и рельефу зерен, и даже их минеральный и зерновой состав (если сравнивать отсев с природными песками) различен. На предприятиях по выпуску нерудных щебеночных материалов образуется 60–90 млн м$^3$/год отсевов дробле-

ния, определенная часть используется, однако большая часть отправляется в отвалы [2, 13,14,15,16,17].

Наилучшее качество отсевов получается при дроблении мелко-среднезернистых каменных пород. Шероховатость поверхности зерен такого песка характеризуется высотой микрорельефа около 170 –190 мкм, что обеспечивает наилучшее сцепление с цементным камнем в бетоне. Недостатком использования крупнозернистых пород полиминерального состава, в частности гранита, является тот фактор, что образуются зерна песка мономинерального состава (кварц, полевой шпат, слюда), отличающиеся незначительным сцеплением с цементным камнем.

Бетонные смеси, изготовленные из отсевов дробления, характеризуются повышенной водопотребностью. Это практически исключает возможность достижения высоких прочностных и других эксплуатационных показателей. Однако рядовые классы по прочности зависимы от водоцементного отношения не меньше. Другими словами, любой фактор, увеличивающий водопотребность, закономерно провоцирует повышение расхода цемента, а значит, себестоимости [6]. Другой побочный эффект использования отсевов, связанный с водопоглощением пылевидными частицами заполнителя в процессе изготовления и транспортировки, проявляется в ускоренной потере подвижности бетонных смесей. Актуальное требование неизменности реологических свойств в течение двух часов становится затруднительным даже в условиях довольно умеренного уральского климата. В свою очередь крупный заполнитель, характерный для Уральского Федерального округа, представлен, как правило, интрузивными породами с маркой по дробимости выше 1200 [12]. Однако и здесь нередки отклонения от стандартного процента по содержанию пылевидных частиц.

Целью проведения исследования является разработка эффективных бетонов для условий Западной Сибири на полифракционных заполнителях, состоящих из щебня и отсевов дробления в виде песка и пыли местных карьеров, а также химических добавок – регуляторов свойств бетонной смеси.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели составлен план эксперимента, включающий изучение региональных особенностей карьеров Тюменского и близлежащих регионов и разработку составов эффективных бетонов с использованием отходов нерудного производства. Для исследований использованы отсевы дробления щебня с гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область).

Для получения бетонов с низким водосодержанием, высокой прочностью и морозостойкостью был проведен анализ и исследование эффективности добавок на свойства полученных бетонных составов. В ходе проведения экспериментального исследования были изучены свойства разработанных составов бетонов на основе отсевов дробления щебня с добавкой гиперпластификатора MC-Power Flow и воздухововлекающей добавкой Centrament Air 202. В экспериментальных исследованиях использована совокупность стандартных методов [18,19,20].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного исследования свойств отсевов дробления щебня с гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область) были получены данные, которые приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1
СВОЙСТВА ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ЩЕБНЯ
Table 1
PROPERTIES OF SCREENING CRUSHED STONE

| Основные характеристики | Карьер щебня, Челябинская область, г. Сатка | Щебеночный завод, Свердловская область, г. Реж |
|---|---|---|
| Горная порода | доломит | гранит |
| Модуль крупности | 3,3 | 2,57 |
| Фракция щебня 5–10 мм, % | 14,7 | 11,2 |
| ПГИ, % | 5,0 | 4,0 |
| Насыпная плотность, кг/м3 | 1450 | 1450 |
| Содержание глины в комках, % | 0,8 | 0 |
| Марка щебня по дробимости | 800 | 1 000 |

Таблица 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОТСЕВОВ
Table 2
RESULTS OF SCREENINGS' CHEMICAL ANALYSIS

| Проба № | Содержание основных оксидов, масс. % | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SiO2 | CaO | MgO | Fe2O3 | Al2O3 | TiO2 | MnO | P2O5 | Na2O | K2O | CO2 | п.п.п. |
| 390 (гранит) | 70,82 | 2,33 | 1,09 | 4,00 | 12,58 | 0,40 | 0,08 | 0,05 | 3,51 | 2,22 | - | 2,85 |
| 391 (доломит) | 0,11 | 31,61 | 23,04 | 1,51 | 2,58 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,33 | 0,40 | 40,07 | - |

Было выявлено, что как и любой строительный материал отсев от производства щебня обладает рядом недостатков:

- специфическая форма и качество поверхности зерен - преимущественно угловатые с шероховатой поверхностью;

-повышенное содержание слюды (отсев производства ООО «Режевской щебеночный завод»). Чешуйки слюды имеют низкую адгезию к цементу, что может в дальнейшем провоцировать образование трещин и соответственно снижать прочность бетона;

-запыленность отсева (проход через сито № 0,16 составляет 16,5%) способствует повышению водопотребности бетонной смеси, что также негативно отражается на показателях прочности бетона;

-повышенное водопоглощение отсева (12–23%) снижает морозостойкость готовых бетонных изделий.

Результаты многочисленных исследований [1, 2, 4, 15, 16] показывают, что морозостойкость цементных бетонов зависит от различных факторов, к основным из которых относят начальное водоцементное отношение, вид и активность цемента, состав и условия твердения бетона, его возраст к моменту замораживания, морозостойкость заполнителей. К сожалению, не все факторы поддаются регулированию, что в итоге сводит задачу увеличения морозостойкости бетонов к двум основным способам:

- понижение показателя В/Ц путем уменьшения количества вводимой в бетонную смесь воды;
- увеличение показателя вовлеченного воздуха посредством образования в теле бетона условно-замкнутых пор.

Авторами статьи были проведены исследования по разработке составов бетонных смесей с использованием отсевов дробления щебня [4,5]. Часть исследований выполнена в рамках реализации программы «Актуальные проблемы молодежной науки и инноваций в Тюменской области» (грант У.М.Н.И.К. 2015 г.).

В ходе проведения экспериментального исследования были изучены свойства разработанных составов бетонов на основе отсевов дробления щебня с добавкой гиперпластификатора марки MC-Power Flow (производства компании «MC Bauchemie», Германия).

Введение добавки MC-Power Flow в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8 % (от массы цемента) позволяет снизить жесткость смеси с 26 до 5 сек и способствует созданию плотной контактной зоны у поверхности заполнителя (отсева щебня) и повышению прочности сцепления с цементным камнем. Гиперпластификатор снижает отрицательное влияние пылевидных частиц мелкого заполнителя на водопотребность бетонной смеси, повышает смачиваемость зёрен заполнителя, снижает вязкость бетонной смеси, уменьшая вероятность образования несплошностей контактов цементного камня с заполнителем. Кроме того, введение добавки гиперпластификатора MC-Power Flow способствует росту прочности бетона и к 28 сут нормального твердения прочность находится в пределах 32,7-53,2 МПа (рисунки 1,2).

Кроме того, было изучено влияние комплексной добавки, состоящей из эфиров поликарбоксилатов MC-Power Flow 3 100 (80 % от массы комплексной добавки) и воздухововлекающей добавки Centrament Air 202 (20 % от массы комплексной добавки) на свойства бетонов, содержащих отсевы дробления щебня (таблицы 3, 4).

Было выявлено изменение структуры пористости тяжелого цементного бетона с применением отсевов от дробления щебня.

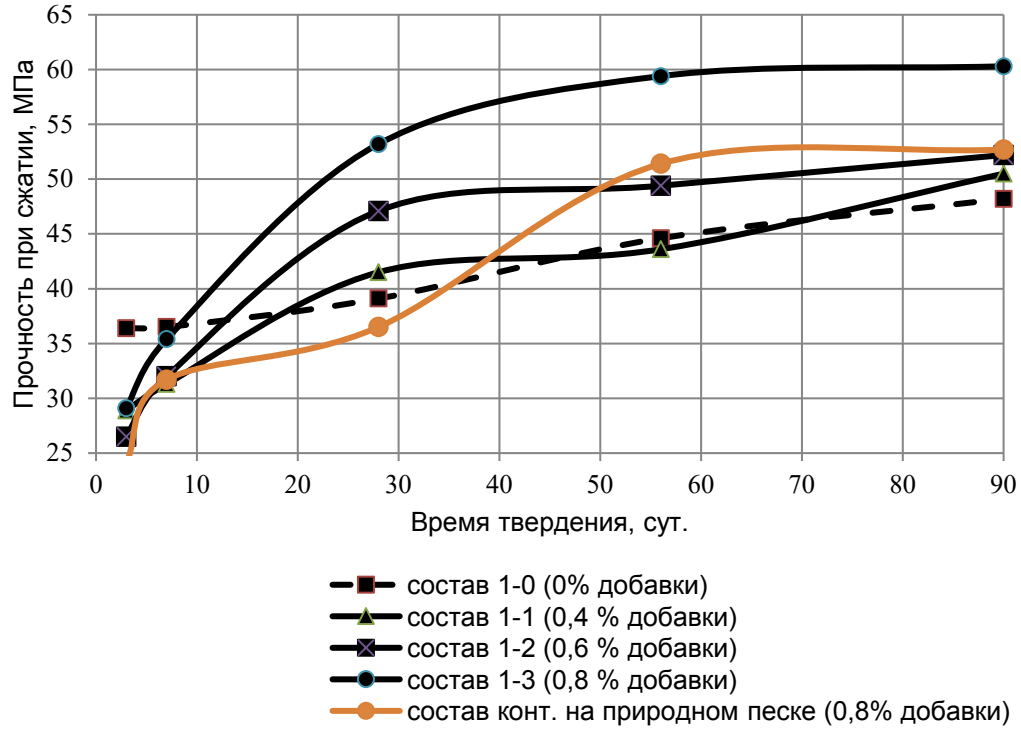



*Рисунок 1 – Влияние добавки МС-Power Flow и гранитного отсева на прочность бетона при сжатии (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения)*
*Figure 1 – Influence of additive MC-Power Flow and granite screening on the concrete strength while the compression process (3, 7, 28, 56, 90 days of hardening)*

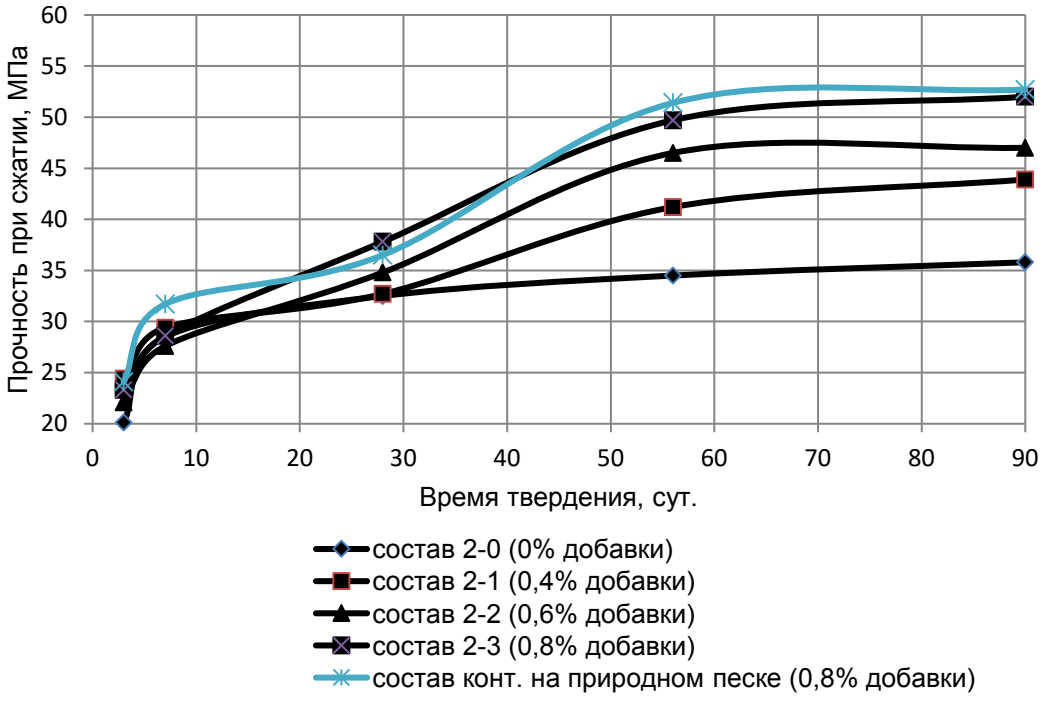



*Рисунок 2 – Влияние добавки МС-Power Flow и доломитового отсева на прочность бетона при сжатии (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения)*
*Figure 2 – Influence of additive MC-Power Flow and dolomite screening on the concrete strength while compression (3, 7, 28, 56, 90 days of hardening)*

Таблица 3
ПОКАЗАТЕЛИ ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦОВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА
Table 3
POROSITY INDICATORS OF THE HEAVY CONCRETE SAMPLES

| № состава | Показатели поровой структуры | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | полный объем пор, $П_п$, % | показатель микропористости, $П_{мк}$ | средний размер пор, λ | объем условно-закрытых пор, $П_з$, % | объем открытых капиллярных пор, $П_{мз}$, % | однородность размера пор, α |
| 1–4 | 14,6 | 2,2 | 41,5 | 2,7 | 10,8 | 0,57 |
| 1-5 | 13,9 | 1,4 | 38,4 | 2,3 | 8,7 | 0,65 |
| 1-6 | 11,8 | 1,8 | 32,5 | 2,9 | 6,5 | 0,59 |
| 1-7 | 8,3 | 1,5 | 20,5 | 1,8 | 3,5 | 0,4 |
| 2-4 | 14,2 | 2,1 | 40,9 | 3,2 | 10,4 | 0,55 |
| 2-5 | 14,0 | 1,5 | 40,1 | 2,4 | 9,6 | 0,49 |
| 2-6 | 13,8 | 1,8 | 34,9 | 2,7 | 8,9 | 0,62 |
| 2-7 | 12,4 | 2,3 | 29,4 | 2,6 | 6,7 | 0,65 |

Примечание. Состав бетонной смеси: вода – 185 кг/м$^3$, цемент – 450 кг/м$^3$, щебень – 1 040 кг/м$^3$, отсев от дробления щебня – 750 кг/м$^3$. В составах 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 был применен гранитный отсев, в составах 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 использовался доломитовый отсев. Испытания проводились по ГОСТ 12730.4 –78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости [19]».

Полученные результаты позволяют однозначно утверждать, что введение в тяжелый бетон с применением отсевов от дробления щебня в качестве мелкого заполнителя комплексной добавки позволяет существенно снизить общую пористость образцов. Также было отмечено увеличение количества условно-закрытых пор и уменьшение их размера. В сумме данные изменения дают существенный прирост показателя морозостойкости тяжелого бетона и получение марок F200-F300, что является хорошей возможностью для применения данного бетона в климатических условиях Западной Сибири.

Таблица 4
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА БЕТОНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОТСЕВЫ ДРОБЛЕНИЯ ЩЕБНЯ
Table 4
EFFECT OF THE COMPLEX ADDITIVE ON THE CONCRETES' PROPERTIES CONTAINING SCREENING CRUSHED STONE

| Основные свойства бетона | | Составы бетона | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 2-4 | 2-5 | 2-6 | 2-7 |
| Добавка, % от массы цемента | | 0 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| В/Ц | | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 |
| Плотность, кг/м$^3$ | | 2250 | 2310 | 2360 | 2390 | 2230 | 2250 | 2310 | 2350 |
| Объем вовлеченного воздуха, % | | 0,1 | 1,4 | 2,9 | 5,3 | 0,4 | 2,0 | 3,6 | 5,9 |
| Прочность при сжатии, МПа | | 37,5 | 41,5 | 47,1 | 53,2 | 29,5 | 32,7 | 34,8 | 37,8 |
| Относительное изменение прочности при сжатии, %, после замораживания и оттаивания | 5 циклов | +0,4 | +1,6 | +1,8 | +4,2 | +2,0 | +1,3 | 0,0 | +2,5 |
| | 10 циклов | +0,1 | +0,9 | 0 | 0 | -1,3 | +0,1 | -0,4 | +0,7 |
| | 20 циклов | -8,4 | -1,7 | -2,1 | -2,5 | -5,2 | -1,4 | 0 | 0 |
| | 30 циклов | - | | -1,5 | -3,4 | - | - | - | -6,8 |
| | 45 циклов | - | - | - | -8,5 | - | - | - | - |

Примечание. Испытания проводились по ГОСТ 10060-–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по второму ускоренному методу испытания [20].

Опытно-промышленная апробация была выполнена путем изготовления в производственных условиях железобетонных изделий. Объектом апробации стали железобетонные лотки Л-15/2 (Серия 3.006.1-2.87.) производства завода ЖБИ «Ротор» п. Винзили Тюменской области.

Апробация показала высокую экономическую эффективность применения отсевов дробления щебня в качестве мелкого заполнителя для тяжелых цементных бетонов с требованиями по морозостойкости (таблица 5).

Таблица 5
СЕБЕСТОИМОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ КЛАССА В30 НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ
Table 5
THE PRIME COST OF HEAVY CONCRETE B30 CLASS ACCORDING TO VARIOUS TYPES OF FINE AGGREGATE

| Состав бетона | Расход материалов на 1 м$^3$ бетонной смеси, кг | Стоимость компонента, руб. (с НДС) |
|---|---|---|
| Цемент (ОАО Сухоложскцемент) | 400 | 150 8,4 |
| Щебень, фракции 5-20 (Курманский щебеночный завод) | 1 110 | 912,4 |
| Крупнозернистый песок (ООО Тюменьнеруд) | 800 | 680,00 |
| Отсев от дробления щебня (Режевской щебеночный завод) | 800 | 620,00 |
| Комплексная добавка (MC Bauchemie) | 2,8 | 296,00 |
| Вода | 150 | 10,5 |

В итоге цена 1 м$^3$ бетона класса В30 при применении природного крупного песка в качестве заполнителя – 3407,3 рублей, цена 1 м$^3$ бетона класса В30 при применении отсева – 3347,3 руб., что дает экономию 60 руб. на 1м$^3$. Данные исследования позволяют утверждать об экономической перспективности применения отсевов дробления в составе тяжелых цементных бетонов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны составы эффективных тяжелых бетонов классов В22,5 - В40 с применением отсевов дробления щебня гранитного карьера г. Реж и доломитового карьера г. Сатка в качестве мелкого заполнителя. Выявлено повышение прочности и морозостойкости бетона за счет применения комплексной добавки, которая способствует повышению степени гидратации цемента и снижению капиллярной пористости.

2. Изучены количественные и качественные характеристики гранитных отсевов г. Реж и доломитовых отсевов г. Сатка и установлена возможность применения этих отходов в составе тяжелого цементного бетона.

3. Изучено влияние добавки MC-PowerFlow 3100 и Centrament Air 202 на свойства бетонной смеси, кинетику набора прочности и морозостойкость бетонных образцов с применением отходов от дробления щебня в качестве мелкого заполнителя.

4. Проведены опытно-промышленные испытания результатов при производстве железобетонных лотков Л-15/2 (Серия 3.006.1-2.87.) на заводе ЖБИ «Ротор» (п. Винзили, Тюменская область).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. 2016. №8. С. 66-69.

2. Шатов А.Н. Способ получения качественных товарных бетонов с учетом специфики материальной базы УрФО / А.Н. Шатов // Технологии бетонов. 2017. №1-2. С. 10-11.

3. Груздев А.А., Клавдиева Т.Н., Пушкарская О.Ю. Комплексная оценка строительных композитов на основе техногенных отходов // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной конф. г. Волгоград, 2009. С. 190 – 192.

4. Ахтямов В.Ф., Батурин А.С., Елизаров И.А., Хафизова Э.Н. Исследование возможности получения высокоэффективных бетонов на основе отходов от производства нерудных материалов и добавок эфиров поликарбоксилатов // Международная научно-практическая конференция молодых ученых им. Д.И. Менделеева: материалы конференции. Тюмень: ТИУ, 2016. С. 315-318.

5. Хафизова Э.Н., Ахтямов В.Ф. Исследование влияния техногенных отходов нерудного производства на свойства бетонов // Вестник ТГАСУ. 2017.№4. С.107-116.

6. Хамидуллина Д.Д., Гаркави М.С., Якубов В.И., Родин А.С., Кушка В.Н. Отсевы дробления - эффективный способ повышения качества бетонов // Строительные материалы. 2006. №11. С. 50-51.

7. Харо О.Е., Левкова Н.С., Лопатников М.И., Горностаева Т.А. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов // Строительные материалы. 2003. № 9. С. 18-19.

8. Применение рециклируемых материалов в дорожном строительстве США и Европы. БИНТИ. 2002. №1. С. 16-18.

9. Левкова Н.С. Т.А. Горностаева Повышение эффективности комплексного использования сырья за счет отсевов дробления щебня из изверженных пород // Вестник БГТУ имени Шухова. 2003. №5. С. 308-311.

10. Malhotra V.M., A.R.Ramezanianpour Fly Ash in Concrete // 2nd Ed, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. Canada. 1994. 307 p.

11. Лотов В.А., Тарбеев О.Г., Кутугин В.А. Приготовление бетонных смесей при производстве высокопрочных бетонов // Сб. докладов 3-го (XI) Международного совещания по химии и технологии цемента. Санкт-Петербург:

АЛИТинформ. 2009. С. 141.

12. Хамидулина, Д.Д., Гаркави М.С. Мелкозернистый бетон на основе песка из отсевов дробления // Материалы 64 –й научной технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг. сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Т.2. С. 39-42.

13.Нгуен Вьет Кыонг, Чумаков Л.Д. Комплексное использование базальтовых заполнителей в бетоне // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». 2009. №1. С. 164-167.

14. Федосов С.В., Акулова М.В., Падохин В.А. Мелкозернистый бетон на механомагнитоактивированной воде с добавкой суперпластификатора // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 120-127.

15. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С. Бетон повышенной долговечности при производстве опор линий электропередач // Строительные материалы. 2014. №5. С. 1-3.

16. Бердичевский, Г.И. Производство сборных железобетонных изделий: справочник / Бердичевский Г.И., Васильев А.П., Малинина Л.А. Под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева // М.: Стройиздат, 1989. 447 с.

17. Крючкова, И.В. Анализ нормативно-правовой базы по регулированию рынка вторичного сырья для строительства // Воронежский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, 2006. 5 с.

18. ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. Введ. 2011-07-01. Москва, Стандартинформ. 2011. 11 с.

19. ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Методы определения показателей пористости. Введ. 1980-01-01. Стандартинформ. 2007. 8 с.

20. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Введ. 2014-01-01. Стандартинформ. 2014.10 с.

# INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL NON-METALLIC PRODUCTION WASTES ON HEAVY WEIGHT CONCRETE PROPERTIES

***V.F. Akhtyamov, E.N. Khafizov***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The following article deals with recycling of non-metallic industrial wastes for the production of heavy weight concretes.*
***Materials and methods.*** *The research uses a set of standard methods.*
***Results The physical, chemical characteristics and screenings gradation of the quarries Sverdlovsk and Chelyabinsk regions are explored.*** *The compositions of effective heavy weight concretes with strength quality B22, 5-B40 based on stone screening dust and additives MC-Power Flow and Centrament Air 202 have been developed. The structural properties and construction characteristics of concrete mixtures and heavy weight concretes with stone screening dust are studied. The research demonstrates that the addition of MC-Power Flow additive to the concrete mixture in an amount of 0.4 to 0.8 % (by weight of cement) allows to reduce the hardness of the mixture from 26 to 5 seconds and promotes the creation of a tight contact zone at the surface of the aggregate. Moreover, the influence of the complex additive on the pore parameters of heavy weight concrete and on the frost resistance of samples is determined with the use of screening from rocks as a fine aggregate. Samples of heavy concrete frost resistance grade F300 are obtained.*
***Discussion and conclusion.*** *Cost-effectiveness analysis of the screenings use in the composition of heavy weight concrete and the industrial approbation at the precast concrete factory of the Tyumen region are carried out.*

***KEYWORDS*****:** *technological wastes, building materials, stone screening dust, heavy weight concrete.*

## REFERENCES

1. Leonovich S.N., Polejko N.L. Jekspluatacionnye harakteristiki betona na zapolnitele iz osadochnyh gornyh porod [Performance characteristics of concrete on aggregate from sedimentary rocks]. Stroitel'nye materialy, 2016, no. 8, pp. 66-69 (rus).

2. Shatov A.N. Sposob polucheniya kachestvennykh tovarnykh betonov s uchetom spetsifiki material'noi bazy UrFO. [Method for obtaining high-quality commercial concretes taking into account the specificity of the material base of the Urals Federal District]. Tekhnologii betonov, 2017, no. 1-2, pp. 10-11 (rus).

3. Pushkarskaja O.Ju., Gruzdev A.A., Klavdieva T.N. Kompleksnaja ocenka stroitel'nyh kompozitov na osnove tehnogennyh othodov [Comprehensive assessment of building composites based on industial wastes] // Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, konstrukcij i osnovanij fundamentov. [Reliability and durability of building materials, structures and subfoundations]. Materials of the V International Conference. Volgograd, 2009, pp. 190 – 192 (rus).

4. Akhtyamov V.F., Baturin A.S., Elizarov I.A., Khafizova E.N. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya vysokojeffektivnyh betonov na osnove othodov ot proizvodstva nerudnyh materialov i dobavok jefirov polikarboksilatov. [Investigation of obtaining high-performance concretes based on wastes from the production of non-metallic materials and polycarboxylates esters additives]. International scientific practical conference of young scientists named after D.I. Mendeleyev's. Tyumen, 2016, pp. 315-318 (rus).

5. Khafizova E.N., Akhtyamov V.F. Issledovanie vlijanija tehnogennyh othodov nerudnogo proizvodstva na svojstva

betonov. [Study of technological wastes influence of non-metallic production on concrete properties]. Vestnik of TSUAB, 2017, no. 4, pp. 107-116 (rus).

6. Hamidullina D.D., Garkavi M.S., Jakubov V.I., Rodin A.S., Kushka V.N. Otsevy droblenija - jeffektivnyj sposob povyshenija kachestva betonov. [Stone screening dust are the effective way to improve the quality of concretes]. Stroitel'nye materialy, 2006, no. 11, pp. 50-51 (rus).

7. Kharo O.E., Levkova N.S., Lopatnikov M.I., Gornostaeva T.A. Ispol'zovanie otkhodov pererabotki gornykh porod pri proizvodstve nerudnykh stroitel'nykh materialov. [Use of recycling rock wastes in the manufacture of non-metallic building materials]. Stroitel'nye Materialy, 2003, no. 9, pp. 18-19. (rus).

8. Primenenie retsikliruemykh materialov v dorozhnom stroitel'stve SShA i Evropy. [Application of recyclable materials in road construction in Europe and the United States]. BINTI, 2002, no. 1, pp. 16-18. (rus).

9. Levkova N.S., Gornostayeva T.A. Povyshenie jeffektivnosti kompleksnogo ispol'zovanija syr'ja za schet otsevov droblenija shhebnja iz izverzhennyh porod. [Increase of complex use efficienc of raw materials due to screenings of crushed stone from igneous rocks]. Bulletin of BSTU named after Shukhov, 2003, no. 5, pp. 308-311(rus).

10. Malhotra V.M., Ramezanianpour A.R. Fly Ash in Concrete/ 2nd Ed, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. Canada, 1994, 307 p.

11. Lotov V.A., Tarbeev O.G., Kutugin V.A. Prigotovlenie betonnyh smesej pri proizvodstve vysokoprochnyh betonov. [Preparation of concrete mixtures for the production of high-strength concrete] / Reports of the 3rd (XI) International Meeting on Chemistry and Cement Technology. St. Petersburg: ALITinform, 2009. Pp. 141 (rus).

12. Khamidulina D.D., Garkavi M.S. Melkozernistyj beton na osnove peska iz otsevov droblenija. [Fine-grained concrete on the basis of sand from stone screening dust] / Materials of the 64th scientific conference on the results of scientific research for 2004-2005. Magnitogorsk: GOU VPO "MSTU", 2006, pp. 39-42 (rus).

13. Nguyen Viet Kyong, Chumakov L.D. Kompleksnoe ispol'zovanie bazal'tovyh zapolnitelej v betone. [Complex use of basalt aggregates in concrete]. Scientific and technical journal "Vestnik MSSU", no.1, 2009. pp. 164-167 (rus).

14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E., Padokhin V.A. Melkozernistyj beton na mehanomagnitoaktivirovannoj vode s dobavkoj superplastifikatora. [Fine-grained concrete on mechano-magneto-activated water with the addition of a superplasticizer]. Bulletin of MGSU, 2012, no. 5, pp. 120-127 (rus).

15. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Polyansky I.S. .M.M. Beton povyshennoj dolgovechnosti pri proizvodstve opor linij jelektroperedach. [Concrete of increased durability in the production of power transmission towers]. Stroitel'nye materialy, 2014, no. 5, pp. 1-3 (rus).

16. Berdichevsky G.I., Vasiliev A.P., Malinina L.A. Proizvodstvo sbornyh zhelezobetonnyh izdelij. [Manufacture of precast concrete units]. Reference guide: Stroiizdat. 1989. 447 p. (rus).

17. Kryuchkova I.V. Analiz normativno-pravovoj bazy po regulirovaniju rynka vtorichnogo syr'ja dlja stroitel'stva. [Analysis of the regulatory and legal framework for regulating the market of secondary raw materials for construction]. Voronezh State Architectural and Construction University, 2006. 5 p. (rus).

18. State Standard GOST 31424-2010. Materialy stroitel'nye nerudnye iz otsevov droblenija plotnyh gornyh porod pri proizvodstve shhebnja. Tehnicheskie uslovija. [Non-metallic building materials from screening crushing of dense rocks in crushed stone production. Technical conditions] 11 p. (rus).

19. State Standard GOST 12730.4-78. Betony. Metody opredelenija pokazatelej poristosti. [Concretes. Methods for porosity determination] 8 p. (rus).

20. State Standard GOST 10060-2012. Betony. Metody opredelenija morozostojkosti. [Concretes. Methods for frost resistance testing] 10 p. (rus).

***Поступила 15.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## АФФИЛИАЦИЯ АВТОРОВ

*Ахтямов Вадим Фаридович – аспирант кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО ТИУ (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, д. 2, ТИУ, 101 к., кафедра «Строительные материалы», e-mail: sib_zhil_term@mail.ru).*

*Vadim F. Akhtyamov – research assistant of the "Tyumen Industrial University" (625001, Tyumen, Russia, 2, Lunacharskogo St., e-mail: sib_zhil_term@mail.ru).*

*Хафизова Эльза Назифовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО ТИУ (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, д. 2, ТИУ, 101 к., кафедра «Строительные материалы», e-mail: hafizova_elza@mail.ru).*

*Elza N. Khafizova – PhD, Assistant Professorof the "Tyumen Industrial University", (625001, Tyumen, Russia, 2, Lunacharskogo St., e-mail: hafizova_elza@mail.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Ахтямов В.Ф. Проведение экспериментальных исследований, обработка результатов экспериментов, оформление статьи.*

*Хафизова Э.Н. Постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, редактирование статьи.*

УДК 691.535

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩИМ МАТЕРИАЛОМ

***М.В. Морозова***
*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия*

## АННОТАЦИЯ

***Введение.*** *Реализация программы развития Северных и Арктических территорий не представляется возможной без использования в строительной индустрии современных материалов и технологий. Одним из наиболее распространённых и востребованных строительных материалов является мелкозернистый бетон, для производства которого используют химические добавки в основном импортного производства, улучшающие эксплуатационные характеристики композита. Поэтому актуальной проблемой является замена импортных составляющих на добавки российского производства. В качестве такой добавки можно использовать техногенное сырье в виде сапонитсодержащего отхода алмазодобывающей промышленности.*
***Материалы и методы.*** *Для изготовления мелкозернистого бетона использовали речной песок средней крупности месторождения «Кеницы», в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ II/А-Ш компании ОАО «Мордовцемент». Выделенный из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд сапонитсодержащий материал предварительно подвергали механоактивации. Контрольные образцы бетона и опытные (с высокодисперсной добавкой) готовили по стандартным методикам. После выдержки в течение 28 сут были определены эксплуатационные характеристики полученных образцов (предел прочности на сжатие, морозостойкость и водонепроницаемость).*
***Результаты.*** *В качестве добавки в бетонную смесь использовали высокодисперсный сапонит-содержащий материал со средним размером частиц 445±40 нм и удельной поверхностью 50670±10 м²/кг. Определение прочностных и морозостойких характеристик показало значительное увеличение данных показателей у опытных образцов. Кроме того, введение минеральной добавки способствует повышению марки по водонепроницаемости.*
*Анализ микроструктуры бетонных образцов методом растровой электронной микроскопии показал, что в опытных образцах, в отличие от контрольных, присутствуют гидросиликаты группы тоберморита, играющие роль дополнительного связующего.*
***Обсуждение и заключение.*** *Установлено, что минеральная добавка увеличивает прочность опытных образцов бетона в 1,6 раза по сравнению с контрольными. При этом повышается морозостойкость (с F100 до F300) и водонепроницаемость (с W6 до W10). Полученные данные позволяют рассматривать ССМ как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.*
*Разрабатываемая бетонная смесь с добавкой сапонитсодержащего материала позволит не только снизить антропогенное воздействие на регион, но и получить экологически чистое сырье российского производства. Экономический эффект при сравнении с аналогами составит 26%.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *бетон, сапонитсодержащий материал, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, минеральная добавка, механоактивация, удельная поверхность, отход промышленности.*

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем», САФУ имени М.В. Ломоносова.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие Европейского Севера связано со строительством дорог, коммуникаций, жилых и промышленных объектов. Обеспечение комфортной и развивающейся городской инфра-

структуры северных городов невозможно без изучения и разработки новых строительных материалов, применимых к суровым климатическим условиям [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Для комплексного социально-экономического развития территорий Севера и Арктики требуется модернизация существующей инфраструктуры, связанная с внедрением новых инженерных и строительных технологий. Реализация программы основывается на создании городов и поселков в условиях Крайнего Севера и Арктики, что не представляется возможным без использования в строительной индустрии высокопрочных мелкозернистых бетонов [7 ,8, 9, 10].

Такой бетон должен в первую очередь отличаться эксплуатационной надежностью. Высококачественный композиционный материал должен иметь высокие показатели прочности, морозостойкости, водонепроницаемости [6, 11, 12, 13,14 ,15].

На данный момент наиболее перспективным решением задачи повышения эксплуатационных характеристик бетонных композитов в северных климатических условиях является разработка новых эффективных классов строительных композитов и процессов их получения, позволяющих целенаправленно регулировать свойства объектов [1 , 2, 6, 16 , 17]. Все это можно достигнуть за счет модификации цемента [11, 16, 18], использования новых видов бетонов и растворов [19,20,21], применения активных минеральных компонентов [18, 22 , 23].

Для повышения эксплуатационных характеристик бетонного композита используют химические добавки в основном импортного производства, что ведет к дополнительному удорожанию продукции и увеличению сроков изготовления. Поэтому возникает необходимость в разработке добавок российского производства, способных оказывать комплексное воздействие на свойства бетонной смеси (регулирование подвижности, плотности, повышение прочности, морозостойкости). Это позволит решить актуальный вопрос импортозамещения.

Кроме того, технология получения бетонов высокого класса основывается также на управлении структурообразованием композита на всех этапах производства, позволяющих целенаправленно регулировать свойства объектов на микро- и наноразмерном уровнях [18, 19, 22, 23]. Особое значение приобретают экономические и экологические аспекты повышения эффективности бетона.

Ранее в [24, 25] был исследован процесс влияния высокодисперсных добавок на свойства бетонного композита, разработан оптимальный состав мелкозернистого бетона с использованием сапонитсодержащих отходов (ССО) алмазодобывающей промышленности.

Целью данной работы является определение для мелкозернистых бетонных композитов с добавкой на основе сапонитсодержащих отходов таких эксплуатационных характеристик, как прочность, морозостойкость и водонепроницаемость.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления образцов мелкозернистого бетона использовались следующие компоненты: в качестве инертного заполнителя использовали речной песок средней крупности месторождения «Кеницы» Архангельской области, в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ II/А-Ш компании ОАО «Мордовцемент».

Сапонитсодержащий материал (ССМ) был выделен из суспензии оборотной воды путем электролитной коагуляции, основанной на переводе высокодисперсных частиц твердой фазы в состояние, близкое к изоэлектрическому. Для проведения исследований использовали усредненную пробу ССО, отобранную из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд на разной глубине хвостохранилища. Подготовка добавки на основе сапонитсодержащих отходов производилась по следующей схеме. Выделенный из оборотной воды ССМ доводили до постоянной массы при температуре 105 °С. Измельчение материала до требуемой степени дисперсности осуществляли методом сухого помола на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. Опытным путем были подобраны оптимальные режимные параметры диспергирования. Размер частиц определяли на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета - потенциала Delsa Nano методом измерения динамического и электрофоретического светорассеяния.

Полученный высокодисперсный образец охарактеризовали методом сорбции азота на анализаторе Autosorb-iQ-MP по величине удельной поверхности $S_{уд}$.

Изготовление образцов мелкозернистого бетона контрольных и опытных (с добавкой ССМ) составов осуществляли по стандартным методикам.

Испытания на прочность путём сжатия проводили после 28 сут выдержки бетонных кубиков на прессе ИП-1250. Предел прочности при сжатии определяли как среднее арифметическое по трем параллельным измерениям.

Для определения морозостойкости были проведены ускоренные испытания при мно-

гократном замораживании и оттаивании по третьему методу согласно ГОСТ 10060.0-95 «Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования» и ГОСТ 10060.2– 95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многовариантном замораживании и оттаивании» при знакопеременных температурах в диапазоне от 24 до -55°С.

Для замораживания использовали камеру тепла и холода ТХВ-64. Программным обеспечением камеры задавали временной режим процесса замораживания-оттаивания, состоящий из следующих этапов: загрузка образцов при 10°С; понижение температуры в камере до -10 °С; понижение температуры в течение двух часов в камере до - 55°С; выдержка в камере при - 55 °С в течение двух часов; повышение температуры в течение одного часа до -10°С; выгрузка из камеры емкостей с образцами.

Исследование микроструктуры образцов мелкозернистого бетона проводили методом растровой электронной микроскопии на электронном микроскопе Zeiss Sigma VP (ЦКП «Арктика» при САФУ имени М.В. Ломоносова).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе диспергирования опытным путем были подобраны оптимальные режимные параметры измельчения: время диспергирования составило 90 мин., скорость вращения ротора – 420 об/мин., мелющие тела – 20 шт. карбид вольфрамовых шаров, диаметром 20 мм. Полученный при этом высокодисперсный сапонитсодержащий материал обладал среднем размером частиц 445±40 нм и удельной поверхностью 50670±10 м$^2$/кг.

В продолжение исследований были изготовлены контрольные и опытные образцы мелкозернистого бетона (с добавкой ССМ). Количество высокодисперсной добавки, которое необходимо ввести в бетонную смесь, рассчитывали на основании результатов кинетических исследований процесса водопоглощения материала из условия, что сапонитсодержащий материал за 30 мин изменит В/Ц отношение смеси с 0,50 до 0,38.

Равномерность смешения высокодисперсной минеральной добавки с исходными сырьевыми материалами достигалась последовательным смешением равных объемов вяжущего и ССМ.

Прочностные характеристики при испытании на сжатие образцов, а также количество циклов замораживания и оттаивания и полученные при этом результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ
Table 1
STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE SAMPLES

| № п/п | Контрольный состав | | Опытный состав | |
|---|---|---|---|---|
| | Предел прочности, МПа | Модуль упругости, МПа | Предел прочности, МПа | Модуль упругости, МПа |
| 1 | 41,65 | 282 6,92 | 65,01 | 441 2,44 |
| 2 | 39,38 | 269 7,26 | 65,29 | 447 1,92 |
| 3 | 42,96 | 292 9,09 | 64,90 | 442 5,00 |

Таблица 2
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЦИКЛИЧНОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ ОБРАЗЦОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА
Table 2
STRENGTH CHARACTERISTICS ON THE PROCESS OF CYCLIC FREEZING AND THAWING OF THE FINE-GRAINED CONCRETE SAMPLES

| Количество циклов The number of cycles | Контрольный образец | Опытный образец |
|---|---|---|
| | Среднее значение предела прочности, МПа | |
| 0 | 41,33 | 65,31 |
| 75 | 49,43 | 65,78 |
| 100 | 45,19 | 66,03 |
| 150 | 35,78 | 66,31 |
| 200 | 11,40 | 66,12 |
| 300 | - | 65,60 |

Результаты эксперементов показали, что при введении в бетонную смесь минеральной добавки на основе сапонитсодержащего материала прочность опытных образцов повышается в 1,6 раза по сравнению с контрольными.

Данные по определению показателя морозостойкости (таблица 2) позволили установить, что бетонный композит опытного состава выдерживает не менее 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания, в то время как контрольный – 100 циклов.

Установлено, что прочностные характеристики полученного опытного композита в течение 6 циклов попеременного замораживания–оттаивания в водном растворе 5% NaCl (что соответствует 300 циклам эксплуатации бетона) изменились незначительно. Таким образом, была определена марка по морозостойкости для мелкозернистого бетона контрольного состава – F100, для опытного состава – F300.

Результаты определения марки по водонепроницаемости показали, что для образцов контрольного состава она составила – W6, для опытного состава – W10.

Согласно данных РЭМ микроструктура композита представлена в виде конгломератов частиц и новообразований гидросиликатов, размер которых колеблется от 2 до 20 мкм. Частицы имеют различную форму, но в основном можно выделить два типа частиц: губчатые (рисунок 1, а) с развитой микропористой поверхностью имеющие размеры от 5 до 10 мкм; игольчатые (рисунок 1, б) с длиной от 0,5 до 5 мкм (диаметр иголок примерно 0,5 мкм).

Причем в контрольном образце присутствуют только частицы первого типа, а в опытном с добавкой сапонит-содержащего материала наблюдается образование двух типов частиц.

Согласно данным РЭМ образовавшиеся в опытном образце кристаллы игольчатой формы свидетельствует о присутствии субмикрокристаллов гидросиликатов группы тоберморита, которые играют роль дополнительного связующего. Кроме того, присутствие в образце различных форм кристаллов позволяет заполнить анизометричные и изометричные поры. Так, наличие скрытокристаллических гидросиликатов кальция и тоберморита способствует уплотнению бетонной матрицы, снижению ее пористости и омоноличиванию структуры.

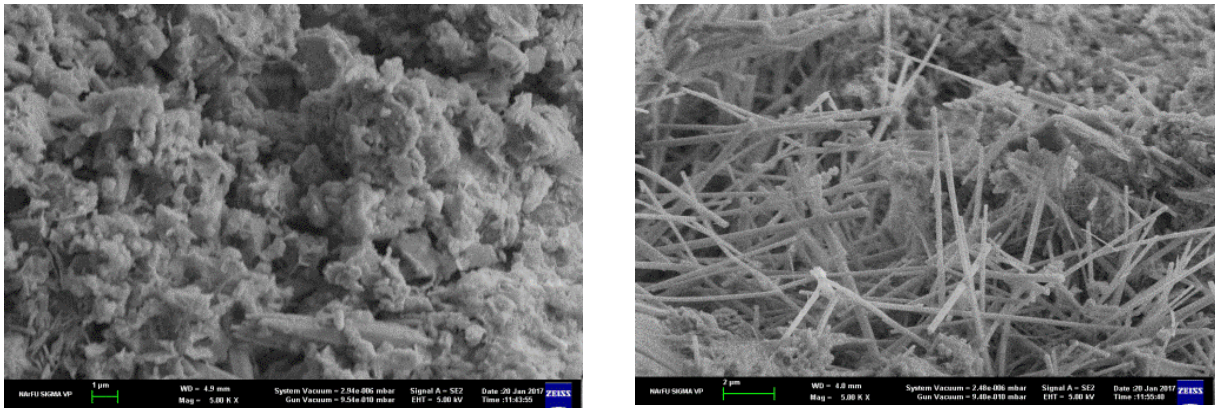
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующий вывод. Установлено, что минеральная добавка на основе высокодисперсного сапонитсодержащего материала, выделенного из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд, увеличивает прочность опытных образцов бетона в 1,6 раза по сравнению с контрольными. При этом повышается морозостойкость (с F100 до F300) и водонепроницаемость (с W6 до W10). Полученные данные позволяют рассматривать ССМ как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

Разрабатываемая бетонная смесь с добавкой сапонитсодержащего материала позволит не только снизить антропогенное воздействие на регион, но и получить экологически чистое сырье российского производства. Экономический эффект при сравнении с аналогами составит 26%.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sohail M.G., Wang, B.,Jain, A.,Dawood, M.,Belarbi, A. Advancements in concrete mix designs: High-performance



a b

*Рисунок 1 – Микроструктура образца состава: a – контрольного; b – опытного с добавкой ССМ*
*Figure 1 –Microstructure of the sample composition : a – control sample; b – experienced sample with SCM*

and ultrahigh-performance concretes from 1970 to 2016. Journal of Materials in Civil Engineering, 2018, 30 (3), 04017310

2. Alnahhal M.F., Alengaram, U.J.,Jumaat, M.Z., Alqedra, M.A.,Mo, K.H. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. Construction and Building Materials, 2018, 163, pp. 482-495

3. Wang H.-J.,Wang, H.-H.,Wei, H.,Gu, C.-Y. Analysis for frost-resistant durability of C25 level hydraulic concrete in severe cold region, Shenyang Gongye Daxue Xuebao. Journal of Shenyang University of Technology, 2015, 37(2), pp. 207-211

4. Фролова М.А., Лесовик В.С. Архитектурная геоника для Северо-Арктического региона. Эффективные строительные композиты // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 711–717.

5. Samimi, K., Kamali-Bernard, S., Maghsoudi, A.A. Durability of self-compacting concrete containing pumice and zeolite against acid attack, carbonation and marine environment. Construction and Building Materials, 2018,165, pp. 247-263.

6. Wawrzeńczyk, J.,Juszczak, T.,Molendowska, A. Effec of Binder Composition on the Structure ofCement Paste and on Physical Properties and Freeze-Thaw Resistance of Concrete. Procedia Engineering, 2016, 161, pp. 73-78.

7. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 9–16.

8. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Высокопрочный легкий бетон как инструмент для развития строительной отрасли // Бетон и железобетон. 2017. № 1 (16). С. 14–16.

9. Kamal M.M., Safan, M.A., Bashandy, A.A., Khalil, A.M. Experimental investigation on the behavior of normal strength and high strength self-curing self-compacting concrete. Journal of Building Engineering. 2018. 16. pp. 79-93

10. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник СибАДИ. 2016. № 1 (47). С. 65-72.

11. Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Полянских И.С. Высокопрочный бетон с дисперсными добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 35–42.

12. Le H.T., Ludwig, H.-M. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. Materials and Design. 2016. № 89. pp. 156-166.

13. Davraz M., Ceylan, H., Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. Pozzolanic effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete. Construction and Building Materials. 2018.165. pp. 494-503.

14. Liisma, E., Raado, L.M., Kraht, J. The damaging effect of carbonation process on frost resistant concrete after freeze/thaw cycles. Advanced Engineering and Technology. II - Proceedings of the 2nd Annual Congress on Advanced Engineering and Technology, CAET 2015. 2015. pp. 13-18.

15. Cwirzen A., Sztermen, P., Habermehl-Cwirzen, K. Effect of baltic seawater and binder type on frost durability of concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014, 26(2). pp. 275-282

16. Yanturina R.A., Trofimo , B.Ya., Ahmedjanov, R.M. Structuring in Cement Systems with Introduction of Graphene Nano-Additives. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. 262 (1). 012017.

17. Fládr J., Bílý, P. Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate. Composites Part B: Engineering. 2018. 138. pp. 77-86.

18. Alrekabi S., Cundy, A.B., Lampropoulos, A., Whitby, R.L.D., Savina, I. Mechanical performance of novel cement-based composites prepared with nano-fibres and hybrid nano- and micro-fibres. Composite Structures. 2017. 178. pp. 145-156.

19. Lim J.L.G., Raman, S.N., Lai, F.-C., Zain, M.F.M., Hamid, R. Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. Journal of Cleaner Production, 2018. 171. pp. 1150-1160.

20. Mymrin V., Pedroso, D.E., Pedroso, C., Iarozinski, A., Catai, R.E. Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. Journal of Cleaner Production, 2018. 174. pp. 380-388.

21. Ogurtsova. Y.N., Zhernovsky, I.V., Botsman, L.N. Efficienc of Composite Binders with Antifreezing Agents. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 262 (1), 012029.

22. Perfilov V., Gabova, V. Nanomodified constructional fiber-reinforced concrete. MATEC Web of Conferences, 2017, 129, 05021.

23. Войтович Е.В., Чулкова И.Л., Фомина Е.В., Череватова А.В. Повышение эффективности цементных вяжущих с активным минеральным нанодисперсным компонентом // Вестник СибАДИ. 2015. № 5 (45). С. 56-62.

24. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Махова Т.А. Использование сапонит-содержащих отходов в качестве компонента сухой строительной смеси для мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Academia // Архитектура и строительство. 2015. №4. С. 137-141.

25. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Применение сапонитсодержащего материала для получения морозостойких бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 28–31.

# OPERATING CHARACTERISTICS OF CONCRETE MODIFIED BY HIGH-VAPOR SAPONITE-CONTAINING MATERIAL

***M.V. Morozova***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *Implementation of the program of development of the northern and Arctic territories is not possible without the use of the construction industry of modern materials and technologies. One of the most common and popular building materials is fine grained concrete with the chemical additives of imported production and such additives enhance the performance characteristics of composite. So the actual problem is the replacement of imported chemical additives to additives produced in Russia.*

*For such supplements the industrial raw material, for example, saponit-containing diamond industry's departure can be used.*

***Materials and methods.*** *The river sand of the average size from the "Kenicy" mining as an astringent - portland cement CEM II/A-S of the "Mordovcement" company is used for the manufacturing of fine grained concrete. The saponit-containing material from recycled water enrichment process of the kimberlite ore is previously subjected to mechanical activation. Control and experimental samples of concrete (with a fine supplement) are prepared by standard methods. After 28 days the performance characteristics of obtained samples are described, such as the compressive strength, the frost resistance and the water resistance.*

***Results.*** *As a result the usage of additives in concrete mixture, such as the superfine saponit-containing material with an average particle size of 445 ± 40 nm and specific surface of 50670 ± 10 $m^2$/kg, shows that the strength and frost-resistant characteristics significantly increase with such parameters in comparison with the prototypes. In addition, the introduction of mineral additives contributes to the enhancement of the brand on the resistance to penetration of water.*

***Discussion and conclusion.*** *It was established that the mineral additive increases the strength of the test concrete samples by 1.6 times in comparison with the control ones. It also increases the frost resistance (from F100 to F300) and water resistance (from W6 to W10). The obtained data allows us to consider the CMM as an active mineral component in concrete compositions of the hydration hardening type. Therefore, the developed concrete mixture with the addition of saponite-containing material would allow not only to reduce the anthropogenic impact on the region, but also to receive environmentally raw materials of Russian production. The economic effect in comparison with analogues would be 26%.*

**KEYWORDS:** *concrete, saponit-containing material, durability, frost resistance, water resistance, mineral supplement, mechanical surface, waste industry.*

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out on the unique scientific equipment "Physical Chemistry of Surfaces of Nano-Dispersed Systems" in the Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov.

## REFERENCES

1. Sohail M.G., Wang B., Jain A., Dawood M., Belarbi A. Advancements in concrete mix designs: High-performance and ultrahigh-performance concretes from 1970 to 2016. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, no. 30(3). 04017310.

2. Alnahhal M.F., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Alqedra M.A., Mo K.H. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 163, pp. 482-495.

3. Wang H.-J., Wang H.-H., Wei H., Gu C.-Y. Analiz morozostoykoy prochnosti gidravlicheskogo betona urovnya C25 v holodnom rayone, Shenyang Gongye Daxue Xuebao. *Journal of Shenyang University of Technology*, 2015, no. 37(2), pp. 207-211

4. Frolova M.A., Lesovik V.S. Arhitekturnaya geonika dlya Severo-Arkticheskogo regiona [Architectural geonic for the North-Arctic region]. *Effective building composites Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences Bazhenov Y. M. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*, 2015, pp. 711-717.

5. Samimi K., Kamali-Bernard S., Maghsoudi A.A. Durability of self-compacting concrete containing pumice and zeolite against acid attack, carbonation and marine environment. *Construction and Building Materials*, 2018, no.165, pp. 247-263.

6. Wawrzeńczyk J., Juszczak T., Molendowska A. Effec of Binder Composition on the Structure of Cement Paste and on Physical Properties and Freeze-Thaw Resistance of Concrete. *Procedia Engineering*, 2016, no. 161, pp. 73-78.

7. Lesovik V.S. Stroitelnyie materialyi. Nastoyaschee i buduschee [Building materials. The present and the future]. *Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*, 2017, V. 12, no. 1 (100), pp. 9-16

8. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Vyisokoprochnyiy legkiy beton kak instrument dlya razvitiya stroitelnoy otrasli [Queens as a tool for the development of the construction industry]. *Concrete and reinforced concrete*. 2017, no. 1 (16), pp. 14-16.

9. Kamal M.M., Safan M.A., Bashandy A.A., Khalil A.M. Experimental investigation on the behavior of normal strength and high strength self-curing self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 2018, no. 16, pp. 79-93.

10. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Teoreticheskie predposyilki sozdaniya tsementnyih kompozitov povyishennoy nepronitsaemosti [Theoretical prerequisites for creating cementitious composites of increased impermeability]. *Vestnik SibADI,* 2016, no. 1 (47), pp. 65-72.

11. Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Polyanskih I.S. Vyisokoprochnyiy beton s dispersnyimi dobavkami [High-strength concrete with dispersed and additives]. *Industrial and civil construction*, 2017, no. 2, pp. 35-42.

12. Le H.T., Ludwig H.-M. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. *Materials and Design*. 2016, no 89, pp. 156-166.

13. Davraz M., Ceylan H., Topçu İ.B., Uygunoğlu T. Pozzolanic effect of andesite waste powder on mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 165, pp. 494-503.

14. Liisma E., Raado L.M., Kraht J. The damaging effec of carbonation process on frost resistant concrete after freeze/thaw cycles. *Advanced Engineering and Technology. II - Proceedings of the 2nd Annual Congress on Advanced Engineering and Technology*, CAET 2015. 2015, pp. 13-18.

15. Cwirzen A., Sztermen P., Habermehl-Cwirzen K. Effect of baltic seawater and binder type on frost durability of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014, no. 26 (2), pp. 275-282.

16. Yanturina R.A., Trofimov B.Ya., Ahmedjanov R.M. Structuring in Cement Systems with Introduction of Graphene Nano-Additives [Strukturirovanie v tsementnyih sistemah s vnedreniem nanochastits grafena]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, no. 262 (1). 012017.

17. Fládr J., Bílý P. Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate. *Composites Part B: Engineering*, 2018, no. 138, pp. 77-86.

18. Alrekabi S., Cundy A.B., Lampropoulos A., Whitby R.L.D., Savina I. Mechanical performance of novel cement-based composites prepared with nano-fibres and hybrid nano- and micro-fibres. *Composite Structures*, 2017, no. 178, pp. 145-156.

19. Lim J.L.G., Raman S.N., Lai F.-C., Zain M.F.M., Hamid R. Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 171, pp. 1150-1160.

20. Mymrin V., Pedroso D.E., Pedroso C., Iarozinski A., Catai R.E. Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 174, pp. 380-388.

21. Ogurtsova Y.N., Zhernovsky I.V., Botsman L.N. Efficiency of Composite Binders with Antifreezing Agents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, no. 262(1). 012029.

22. Perfilov V., Gabova V. *Nanomodified constructional fiber-reinforced concrete*. MATEC Web of Conferences, 2017, no. 129. 05021.

23. Voytovich E.V., Chulkova I.L., Fomina E.V., Cherevatova A.V. Povyishenie effektivnosti tsementnyih vyazhuschih s aktivnyim mineralnyim nanodispersnyim komponentom [Increasing the effectiveness of cement binders with an active mineral nanodispersed component]. *Vestnik SibADI,* 2015, no. 5 (45), pp. 56-62.

24. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Mahova T.A. Ispolzovanie saponit-soderzhaschih othodov v kachestve komponenta suhoy stroitelnoy smesi dlya melkozernistyih betonov s uluchshennyimi ekspluatatsionnyimi harakteristikami [Use of saponite-containing waste as a component of a dry building mix for fine-grained concrete with improved performance]. *Academia. Architecture and Construction,* 2015, no. 4, pp. 137-141.

25. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Mahova T.A. Primenenie saponit-soderzhaschego materiala dlya polucheniya morozostoykih betonov [Application of saponit-containing material to get frost-resistant concrete]. *Industrial and civil construction*, 2015, no. 1, pp. 28-31.

***Поступила 24.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Морозова Марина Владимировна – кафедра композиционных материалов и строительной экологии, Высшая инженерная школа, ассистент, «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, e-mail: m.morozova@narfu.ru).*

*Morozova Marina Vladimirovna – the assistant of the Department "Composite materials and environmental engineering", Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (163002, Arkhangelsk, Russia, 17, Severnaya Dvina Emb., e-mail: m.morozova@narfu.ru).*

УДК 691

# ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТЬЮ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ И ИХ РЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

***Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толыпина, Е.Н. Хахалева***
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Теоретической основой регулирования подвижности и удобоукладываемости бетонных смесей и других реологически сложных тел является реология. В технической литературе по реологическим свойствам бетонных смесей широко используются названия добавок: пластификатор, суперпластификатор, гиперпластификатор. Названия предложены фирмами-изготовителями этих добавок в рекламных целях. В статье авторами дано уточнение физического смысла терминов пластификатор, суперпластификатор, разжижитель цементных систем.*

***Материалы и методы.*** *Для характеристики реотехнологических свойств суспензий и паст в строительной индустрии широко используют величину расплыва конуса, которая не всегда обеспечивает адекватность их подвижности. Установлено, что взаимосвязь между пластической вязкостью и расплывом конуса зависит от степени разжижения их модифицирующими добавками. Авторами рассмотрены экспериментальные данные цементных суспензий без добавки и с умеренной дозировкой добавок, которые являются реологическими сложными упруго-вязко-пластическими телами.*

***Результаты.*** *Показано, что величина расплыва конуса, особенно в области умеренных дозировок добавок, адекватно отражает реологические свойства цементных систем. При больших и малых величинах пластической вязкости расплыв конуса слабо отражает реологические свойства дисперсных систем.*

***Обсуждение и выводы.*** *Даны рекомендации по рациональному применению расплыва конуса для характеристики реотехнологических свойств цементных систем.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *цементные системы, бетонные смеси, пластификатор, расплыва конуса, предел текучести, пластическая вязкость, реологические свойства.*

***Благодарности:*** *Статья подготовлена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современной технической литературе по реологическим свойствам бетонных смесей широко используются следующие названия добавок: пластификатор, суперпластификатор, гиперпластификатор. Считаем необходимым подчеркнуть, что эти термины некорректны. Они предложены фирмами-изготовителями добавок в рекламных целях. Следует отметить, что модификаторы С-3, MF, СБ и т.д. уменьшают предел текучести цементных систем почти до 0 [1, 2]. Таким образом, практически эти добавки ликвидируют пластические свойства цементных систем, т.е. являются депластификаторами. Пластификаторы, очевидно, должны усиливать предел текучести, но на практике такого не наблюдается. В связи с этим авторы данной работы в дальнейшем при описании добавок-модификаторов С-3, MF и т.д. используют термин «разжижитель», т.е. увеличивающий подвижность цементных систем, что соответствует физической сущности действия данных добавок.

Вопросами реологии бетонных смесей занимались многие российские и зарубежные специалисты [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ,11, 12, 13,14]. Реологические исследования позволяют получать важную информацию о текучести суспензий и паст. Для изучения реологических свойств дисперсных систем применяют ротационные и капиллярные вискозиметры и другие типы реометров [3]. К их недостаткам мож-

но отнести то, что ротационный вискозиметр не позволяет изучать бетонные смеси, содержащие крупный и мелкий заполнитель, поэтому в технической литературе мало реограмм таких систем. В связи с этим возникает вопрос о корректности применяемых на практике реотехнологических способов оценки текучести цементных систем. Свойства бетонных смесей определяют путем измерения расплыва конуса [15, 16 ,17]. Однако существует ли взаимосвязь между вязкостью и расплывом конуса? Ниже авторы излагают результаты исследований по данному вопросу.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Теоретической основой регулирования подвижности бетонных смесей, их удобоукладываемости, способности подвергаться перекачиванию является реология – раздел физики, изучающий течение жидкостей, многофазных суспензий и паст.

Простейшими представителями текучих тел являются газы и маловязкие жидкости, например, вода, керосин, этиловый спирт. Они начинают течь при сколько угодно малом напряжении сдвига. Их течение описывается известным законом Ньютона [2, 6]:

$$P = \eta \cdot \dot{\varepsilon}, \text{ или } P = \eta \cdot (du / dn), \quad (1)$$

где $P$ – напряжение сдвига, Па;

$\dot{\varepsilon} = (du / dn)$ – градиент скорости сдвига, $с^{-1}$;

$\eta$ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Если на графике (рисунок 1) по оси абсцисс отложить градиент скорости сдвига ε̇, а по оси ординат – напряжение сдвига P, то получится прямая линия, угол наклона которой будет характеризовать коэффициент динамической вязкости η = $k\ tg\alpha$. При этом прямая пересекает начало координат [2].

*Рисунок 1 – График вязкого течения ньютоновской жидкости*
*Fig. 1 – Diagram of the viscous Newtonian fluid flow*

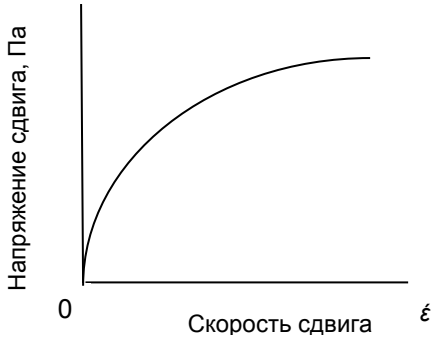



*Рисунок 2 – Кривая течения псевдопластической жидкости*
*Fig. 2 – Curve of the pseudoplastic fluid flow*

Течение некоторых жидкостей не подчиняется закону Ньютона, так как их вязкость меняется с ростом градиента скорости сдвига. К их числу относятся псевдопластические жидкости, кривая течения, которые изображены на рисунке 2. Их вязкое течение может быть описано уравнением, предложенным Оствальдом [2]:

$$P = k \cdot \dot{\varepsilon}^n, \quad (2)$$

где $P$ – напряжение сдвига, Па;

$k$ – показатель консистенции;

$n$ – показатель псевдопластичности, $n$<1.

При $n = 1$ формула Оствальда превращается в закон Ньютона. Показатель консистенции в противоположность коэффициенту динамической вязкости не является константой, а его численное значение и размерность зависят от скорости сдвига и степени нелинейности n.

Многие тела при деформации и течении проявляют не только вязкие, но и упругие свойства, т.е. способность обратимо изменять свою форму при приложении нагрузки, возвращаясь в исходное состояние при ее снятии. Такие тела можно назвать вязко -упругими [2].

Вязко-пластичные тела при движении проявляют наряду с вязкими пластические свойства, т.е. способность при напряжении, превышающем предел текучести, деформироваться необратимо. При снятии нагрузки их деформации сохраняются. Примером таких тел является пластилин, глиняная паста и др. [2, 8, 13].

Для описания течения вязко-пластичных тел Бингам предложил уравнение, названное его именем:

$$P = P_c + \eta_{пл} \cdot \dot{\varepsilon}, \quad (3)$$

где $P_c$ – предел текучести, или предельное статическое напряжение сдвига, Па;

$\dot{\varepsilon}$ – градиент скорости сдвига, $с^{-1}$;

$\eta_{пл}$ – пластическая вязкость, Па·с.

Если действующее на тело напряжение сдвига ниже определенного предела, т.е. $P<P_c$, то вязкое течение не наблюдается, тело либо вообще не деформируется, либо испытывает обратимую упругую деформацию. Реальные дисперсные системы часто обладают свойствами упругости, вязкости, пластичности и псевдопластичности. Так, глинистые, цементные, известковые суспензии при достаточно высоком содержании твердой фазы в процессе деформирования ведут себя как реологически сложные среды. Их течение может быть описано уравнением Балкли-Гершеля [2, 18]:

$$P= P_c + \eta_{пл} \cdot \dot{\varepsilon}^n. \quad (4)$$

Реограмма реологически сложного нелинейного вязкопластичного тела показана на рисунке 3.

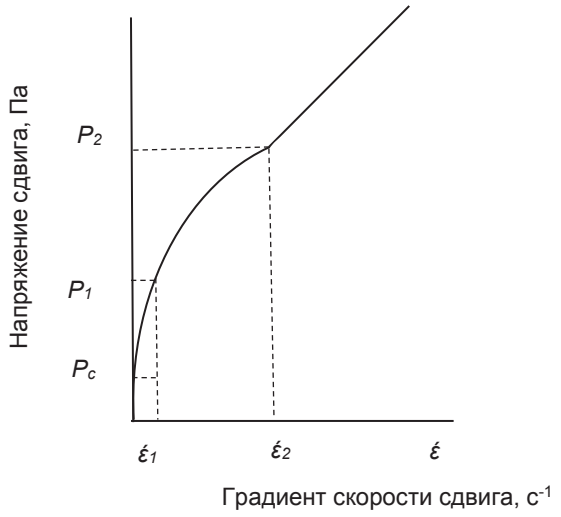



*Рисунок 3 – Реограмма нелинейного вязкопластичного тела*
*Figure 3 – Rheogram of a nonlinear viscoplastic body*

Здесь при $P<P_c$ тело проявляет лишь обратимую упругую деформацию. До $P<P_1$ наблюдается вязкое течение суспензии с практически неразрушенной структурой, т.е. структурный режим с максимальной пластической вязкостью $\eta_{мах}$. Отрезок реограммы на участке $P_c–P_1$ почти прямолинеен. При дальнейшем увеличении напряжения сдвига от $P_1$ до $P_2$ суспензия проявляет псевдопластические свойства, и реограмма имеет криволинейную форму. В этом интервале напряжений и градиентов скорости сдвига происходит падение пластической вязкости дисперсной системы. Это обычно обусловлено разрушением коагуляционной структуры дисперсии, распадом ее на более мелкие первичные частицы, что сопровождается высвобождением так называемой иммобилированной воды, заключенной в пустотах структурной ячейки, и падением вязкости [2, 19].

При $P= P_2$ разрушение структуры суспензии завершается и далее течение происходит с постоянной наименьшей вязкостью практически полностью разрушенной структуры $\eta_{min}$. На этом участке реограмма прямолинейна [2].

Важным свойством структурированных дисперсных систем является изменение во времени их свойств, особенно при увеличении или уменьшении скорости сдвига.

Тела, вязкость которых возрастает во времени при постоянной скорости деформации, называются реопектическими. У дилатантных систем вязкость возрастает при увеличении скорости сдвига [20]. В противоположность этим телам у тиксотропных дисперсных систем при увеличении скорости сдвига вязкость снижается. На этом основано разжижение бетонных смесей при виброобработке [1, 2].

Добавки ПАВ снижают предел текучести и вязкость, но уменьшение вязкости при этом меньше. Применение этих добавок помогает готовить литые строительные смеси, когда наблюдается почти нулевой предел текучести, при этом отпадает необходимость их вибрировать.

На рисунке 4 приведены зависимости предельного динамического напряжения сдвига и пластической вязкости цементных суспензий от концентрации добавок, полученных в работе [10]. Из рисунка следует, что цементные суспензии без пластифицирующих добавок представляют собой реологически сложное тело с небольшим предельным напряжением сдвига и пластической вязкостью, которая снижается по мере роста скорости сдвига и увеличении дозировки модификатора.

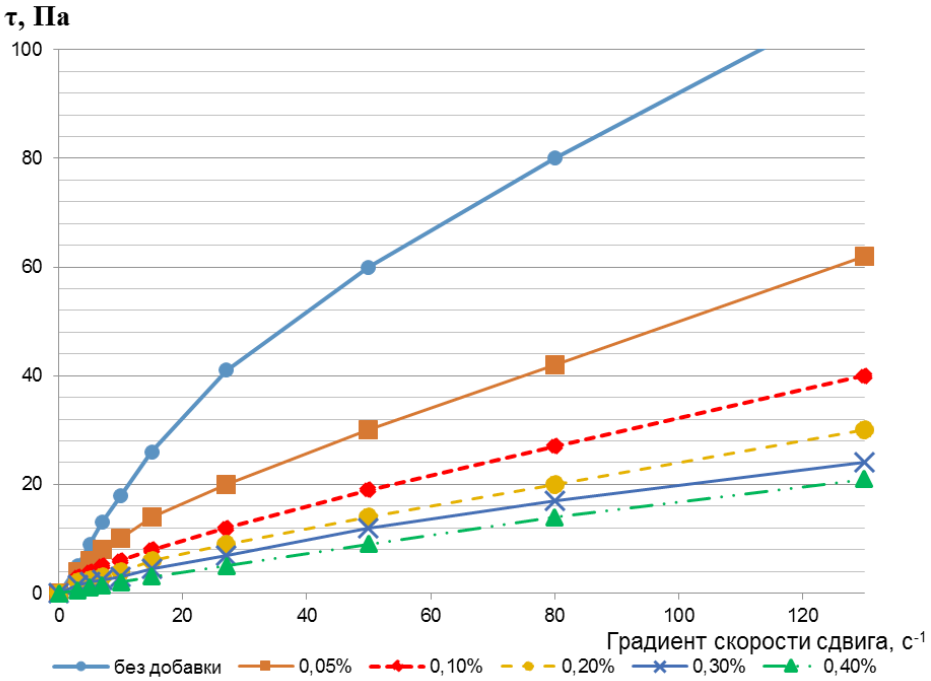



*Рисунок 4 – Реологические кривые цементных суспензий с модификатором СБ-ФФ*
*Figure 4 – Rheological curves of cement suspensions with the SB-FF modifier*

При добавлении органического модификатора СБ-ФФ степень нелинейности реограммы снижается, и при вводе в систему суспензии 0,4 % пластификатора реограмма приобретает прямолинейный характер. Таким образом, ввод достаточного количества пластифицирующей добавки полностью снимает нелинейность, и последняя течет в области градиента скорости сдвига до 150 $с^{-1}$ с постоянной скоростью.

На рисунке 5 приведена зависимость пластической вязкости цементных суспензий от концентрации добавок, полученных в работе [10].

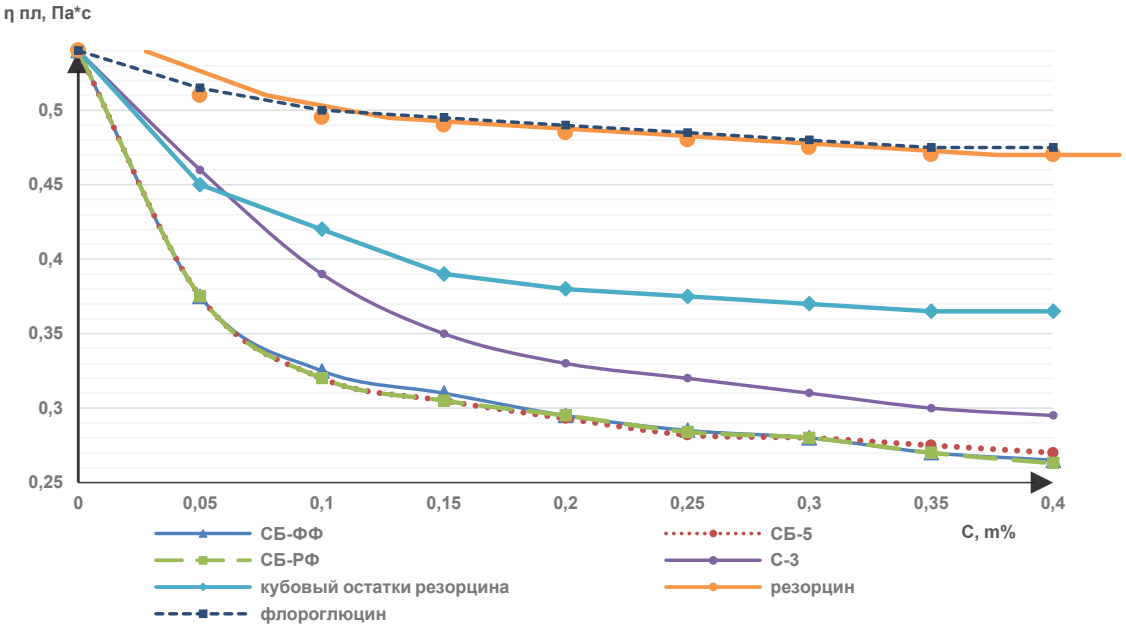



*Рисунок 5 – Зависимость пластической вязкости цементных суспензий от концентраций добавок*
*Figure 5 – Dependence of the cement suspensions' plastic viscosity on the concentrations of additives*

Установлено, что наибольшее влияние на величину предельного напряжения сдвига, особенно в области малых концентраций, оказывают модифицирующие добавки, разработанные в БГТУ олигомеры СБ-ФФ, СБ-РФ и СБ-5, затем следует суперпластификатор С-3, а мономеры резорцин, флороглюцин слабо влияют на реологические параметры суспензий. Аналогичная зависимость наблюдается при исследовании пластической вязкости цементных суспензий с вышеперечисленными добавками [10].

В исследованиях цементных суспензий того же состава, выполненных с использованием миниконуса [10], показано, что наиболее эффективно действуют добавки СБ-ФФ, СБ-РФ, СБ-5 на диаметр расплыва цементной пасты, особенно в области средних дозировок ПАВ. С-3 и кубовые остатки резорцина оказывают меньшее влияние на подвижность цементной пасты. При введении мономеров резорцина и флороглюцина заметного изменения подвижности цементной суспензии не происходит.

Установленная в работе [10] взаимосвязь реологических свойств с подвижностью должным образом не проанализирована.

Несмотря на большое практическое значение вопроса о том, насколько сопоставимы результаты измерения расплыва конуса с данными вискозиметрических исследований, нам не удалось найти в технической литературе достаточно содержательных работ по этой теме.

Рассмотрение изложенных выше экспериментальных данных показывает, что исследование суспензии без добавки и с умеренной дозировкой добавок является реологическими сложными упруго-вязко-пластическими телами. При повышении дозировки разжижающих добавок их упругие и пластические свойства резко уменьшаются, сходя почти до 0, и они превращаются почти в ньютоновские жидкости с вязкостью, не зависящей от градиента скорости сдвига.

Анализ приведенных на рисунке 6 экспериментальных данных [10] показывает, что в области пластической вязкости цементных суспензий до 0,5 Па·с расплыв конуса не зависит от последней. В области пластической вязкости 0,3–0,45 Па·с наблюдается достаточно четкая корреляция между пластической вязкостью и расплывом конуса. Когда пластическая вязкость превышает 0,46 Па·с, расплыв конуса РК перестает зависеть от нее.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязь между пластической вязкостью и РК зависит от степени разжижения, которая определяется дозировками добавок.

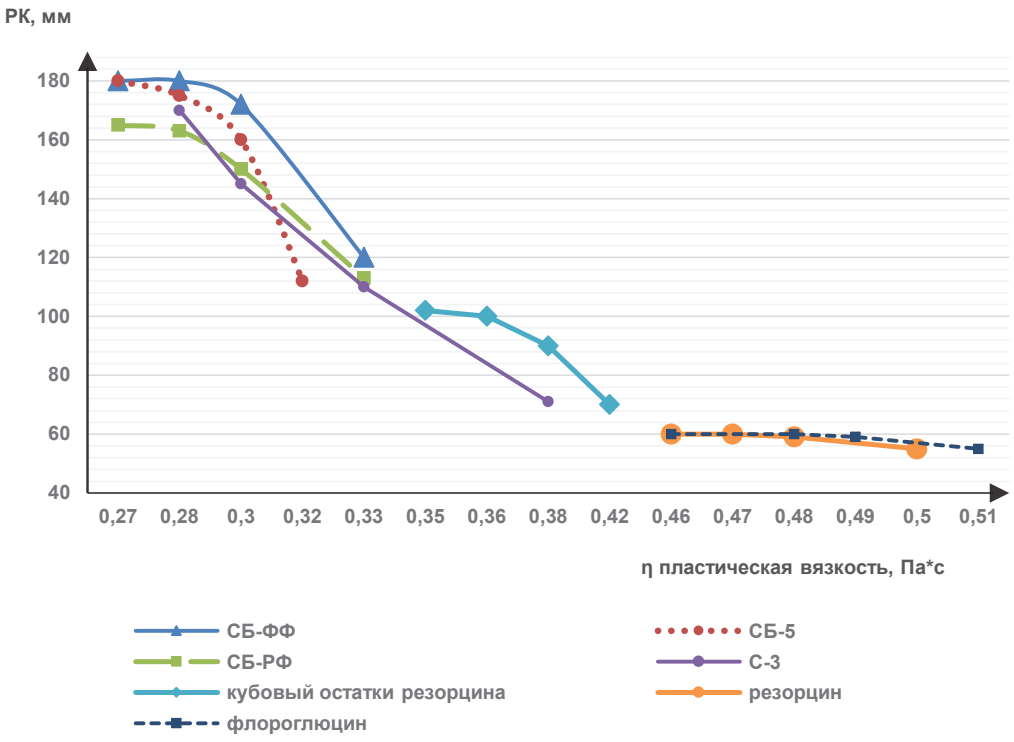



*Рисунок 6 – Зависимость значения расплыв мини-конуса цементных суспензий от пластической вязкости цементных суспензий с различными дозировками добавок-разжижителей*

*Figure 6 – Dependence of the values of the mini-cone spreads in cement slurries on the plastic viscosity of cement suspensions with different dosages of additives-diluents*

Величина расплыва конуса, особенно в области умеренных дозировок добавок, адекватно отражает реологические свойства цементных систем. При больших величинах пластической вязкости $\eta_{пл}$ > 0,4 – 0,5 Па·с, расплыв конуса слабо отражает реологические свойства дис-персных систем. Таким образом, расплыв конуса не рекомендуется использовать для характеристики текучести суспензий с малой и высокой пластической вязкостью.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимбаев Ш.М., Шахова Л.Р., Твердохлебов Д.В. Реологические свойства пеноцементных систем с добавкой анионного пенообразователя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. № 4. С. 6–14.

2. Твердохлебов Д.В. Влияние компонентного состава на реологические и другие технологические свойства пеноцементных смесей // Дисс…канд. техн. наук 05.23.05. – Белгород, 2006. 148 с.

3. Донец А.В., Бабушкин В.И., Плугин А.А., Рахимбаев Ш.М., Олефир И.А. Контроль технологичности строительных смесей с помощью прибора ЭШ-1 // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. № 5. С. 40–45.

4. Baoguo M.A., Huixian Wang. Rheological properties of self-compacting concrete paste containing chemical admixtures. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2013, Volume 28, Issue 2, pp 291–297.

5. Hsu K.C., Chiu J.J., Chen S.D. Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability. Cement and Concrete Composites, 1999, 21(5–6), 425–430.

6. Рейнер М. Реология. М: Наука. 1965. 223 с.

7. Petit J.Y., Wirquin E., Helnan-Moussa B. Effect of W/C and superplasticizer type on rheological parameters of SCC pepair mortar for gravitational or light pressure Injection. Cement and Concrete Composites, 2011, 33(10), pp. 1050–1056.

8. Перцев В.Т., Леденев А.А. Разработка эффективных комплексных органоминеральных добавок для регулирования реологических свойств бетонных смесей: монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. 136 с.

9. Papo A., Piani L. Effect of various superplasticizers on the rheological properties of portland cement pastes. Cement and Concrete Research. 2004. Volume 34. Issue 11. pp. 2097-2101.

10. Слюсарь А.А. Реологические свойства и агрегативная устойчивость водных минеральных суспензий с модификаторами на основе оксифенолфурфурольных олигомеров // Дисс. д.т.н. 02.0.11. Белгород, 2009. 408 с.

11. Ming L., Jiaheng L., Yao B., Xiaodi D., Qinglin Z., Xuqing Z. Preparation of polycarboxylate-based superplasticizer and its effects on zeta potential and rheological property of cement paste. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015. Volume 30. Issue 5. pp. 1008 –1012.

12. Menon S.M. Sathyan D., Anand K.B. Studies on rheological properties of superplasticised PPC paste. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 2017. Volume 8. Issue 10. pp. 939–947.

13. Рахимбаев Ш.М. Регулирование технологических свойств тампонажных растворов // Ташкент: ФАН, 1976. 159 с.

14. Chiara F.F., Karthik H.O., Russell H. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement and concrete. Cement and Concrete Research, 31(2), 2000. pp. 245-255.

15. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н. Влияние мелкого заполнителя из песка на эффективность действия добавок-разжижителей // Вестник СибАДИ. 2016. № 3 (49). С. 74–79.

16. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Карпачева Е.Н. Эффективность действия добавок пластифицирующего действия в зависимости от качества песка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 59–61.

17. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Карпачева Е.Н. Катионактивная добавка для разжжения цементо-песчаных смесей // Бетон и железобетон. 2013. № 6. С. 9–10.

18. Лыков А.В., Шульман З.П. Предисловие. Реофизика и реодинамика текучих систем. Минск: Наука и техника. 1970. С. 3–4.

19. Матвеенко О.И. Цементные системы с добавкой экологически чистых модификаторов // Дисс…канд. техн. наук 05.23.05. Белгород, 1999. 160 с.

20. Пивинский Ю.Е. Керамические вяжущие и керамобетоны. М.: Металлургия, 1990. 270 с.

# INTERRELATION BETWEEN PLASTIC VISCOSITY OF CEMENT SYSTEMS AND THEIR RETHEHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

***Sh. M. Rakhimbaev, N. M. Tolypina, E. N. KHakhaleva***

## ABSTRACT

**Introduction.** *The theoretical basis for regulating the mobility and workability of concrete mixtures and other rheologically complex bodies is rheology. The authors give a clarification of the physical meaning of the terms plasticizer, superplasticizer, diluent of cement systems.*

**Materials and methods.** *In the construction industry, suspensions and pastes are widely used to characterize the rheological properties of the cone spill, which does not always ensure the adequacy of their mobility. It has been found that the relationship between the plastic viscosity and the expansion of the cone depends on the degree of dilution of their modifying additives.*

**Results.** *It is shown that the value of cone expansion, especially in the field of moderate doses of additives, adequately reflects the rheological properties of cement systems. With large and small values of plastic viscosity, the cone decay weakly reflects the rheological properties of disperse systems.*

**Discussion and conclusions.** *Recommendations on the rational use of rasplav cone to characterize the technological properties of cement systems are given in the article.*

**KEYWORDS:** *cement systems, concrete mix, plasticizer, cone spill, yield stress, plastic viscosity, rheological properties.*

*The article was prepared within a development program of the Base University on the basis of BSTU named after V. G. Shukhov*

## REFERENCES

1. Rakhimbaev S.M., Shakhova L.R., Tverdokhlebov D.V. Rheological properties of procement systems with anion foaming agent additive. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov*, 2003, no. 4, pp. 6-14.

2. Tverdokhlebov D.V. the Influence of component composition on the rheological and technological properties of foam-cement composites. Diss. kand. tech. sciences 05.23.05. Belgorod, 2006, 148 p.

3. Donets A.V., Babushkin V.I., Plugin A.A. Rakhimbaev S.M., Olefir I.A. Control techno-logic mixes with the help of the device EL-1. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov*, 2003, no. 5, pp. 40-45.

4. Baoguo M.A., Huixian Wang. Rheological properties of self-compacting concrete paste containing chemical admixtures. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 2013, Volume 28, Issue 2, pp 291–297.

5. Hsu K.C., Chiu J.J., Chen S.D. Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability. *Cement and Concrete Composites*, 1999, 21(5–6), pp. 425–430.

6. Reiner M. Rheology. Moscow. *Science*, 1965. 223 p.

7. Petit J.Y., Wirquin E., Helnan-Moussa B. Effect of W/C and superplasticizer type on rheological parameters of SCC pepair mortar for gravitational or light pressure Injection. *Cement and Concrete Composites*, 2011, 33(10), pp. 1050–1056.

8. Pertsev V.T., Ledenev, A.A., [Development of effectiv complex organic-mineral additives to regulate the rheological properties of concrete mixtures: monograph]. Voronezh. Voronezh GASU, 2012. 136 p.

9. Papo A., Piani L. Effect of various superplasticizers on the rheological properties of portland cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2004, Volume 34, Issue 11, pp. 2097-2101.

10. Slusar A.A. Rheological properties and aggregate stability water mineral aqueous suspensions with modifiers based on oxygenotherapy oligomers. Diss. Ph. D. 02.0.11. Belgorod, 2009. 408 p.

11. Ming L., Jiaheng L., Yao B., Xiaodi D., Qinglin Z., Xuqing Z. Preparation of polycarboxylate-based superplasticizer and its effects on zeta potential and rheological property of cement paste. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater, Sci. Ed.* 2015, Volume 30, Issue 5, pp. 1008–1012.

12. Menon S.M. Sathyan D., Anand K.B. Studies on rheological properties of superplasticised PPC paste. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2017, Volume 8, Issue 10, pp. 939–947.

13. Rakhimbaev S.M. Regulation of technological properties of cement slurries. Tashkent. *FAN*, 1976, 159 p.

14. Chiara F.F., Karthik H.O., Russell H. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement and concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(2), 2000, pp. 245-255.

15. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Hahaleva E.N. Influence of fine aggregate of sand on the efficienc of additives-thinners. *Vestnik SibADI*, 2016, no. 3 (49), pp. 74-79.

16. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Karpacheva E.N. The effectiveness of additives plastaticimage actions depending on quality of sand. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov*, 2013, no. 4, pp. 59-61.

17. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Karpacheva E.N. Cationic additive for Razzie Deposit cement-sand mix. *Concrete and reinforced concrete*, 2013, no. 6, pp. 9-10.

18. Lykov A.V., Shulman Z.P. The Preface. Riovista and rheodynamic fluid systems. Minsk. *Science and technology*, 1970. pp. 3-4.

19. Matveenko O.I. Cement systems with addition of organic modifiers. Diss. kand. tech. sciences 05.23.05. Belgorod, 1999. 160 p.

20. Piwinski Y.E. Ceramic binders and keratopathy. Moscow. Metallurgy, 1990. 270 p.

***Поступила 25.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рахимбаев Шарк Матросулович (Белгород, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Shark M. Rakhimbayev (Belgorod, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Толыпина Наталья Максимовна (Белгород, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, тел. e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Natalia M. Tolypina (Belgorod, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Хахалева Елена Николаевна (Белгород, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, тел. e-mail: hahaleva@intbel.ru).*

*Elena N. Khakhaleva (Belgorod, Russia) – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: hahaleva@intbel.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Рахимбаев Ш.М. Постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, общее руководство.*

*Толыпина Н.М. Проведение экспериментальной части исследования, анализ результатов исследования.*

*Хахалева Е.Н. Обработка результатов исследования, оформление статьи.*

УДК 693.557

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

***А.Р. Соловьянчик[1], С.М. Пуляев[2], И.С. Пуляев[3]***
*[1]ОАО «ЦЛИТ», Москва, Россия*
*[2]НИУ МГСУ, Москва, Россия*
*[3]НИУ МГСУ, Москва, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *В статье рассматриваются вопросы, связанные с исследованием тепловыделения цементов, применяемых при строительстве мостового перехода через Керченский пролив. Данный вопрос представляется актуальным ввиду строительства указанного объекта в условиях сухого жаркого климата.*

***Материалы и методы.*** *Исследование проводилось в условиях реального времени с применением современных информационно-аналитических систем, позволяющих получить результаты, максимально приближенные к реальным условиям. При обработке данных применялся современный расчетный комплекс, многократно апробированный на практике при проведении теплофизических расчётов твердеющего бетона различных массивных объектов.*

***Результаты.*** *Показаны результаты исследования влияния вида цемента на интенсивность тепловыделения и на характер изменения его интегрального изотермического тепловыделения во времени.*

***Обсуждение и заключение.*** *На основании сопоставительного анализа расчётных и практических измерений тепловыделения сделаны основные выводы по проделанной работе, даны рекомендации по применению цементов различных типов при строительстве Керченского моста и других аналогичных внеклассных объектов, которые вошли в основу разработанных технологических регламентов на производство подготовительных, арматурных, опалубочных и бетонных работ в условиях круглогодичного строительства. Статья будет интересна и полезна инженерно-техническому персоналу, работающему в условиях реального производства, и специалистам, занимающимся проблемами обеспечения высоких потребительских свойств бетона.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *бетон, цемент, тепловыделение, мостовой переход, экзотермия, сравнительный анализ, исследование.*

## ВВЕДЕНИЕ

В 2015 году в нашей стране началось строительство уникального мостового перехода через Керченский пролив длиной более 19 км. Расположение объекта в солёной морской воде, повышенные требования к сейсмостойкости, наличие ледовых нагрузок, большая высота сооружения, большая глубина пролива и другие факторы потребовали серьёзного подхода к обеспечению качества бетонных работ и долговечности сооружения. Известно, что одним из свойств цемента, влияющих на качество бетонных работ, сроки строительства и долговечность конструктивных элементов является его тепловыделение, определяющее многие технологические факторы [1,2,3,4,5,6,7.8,9]. Опыт строительства сухих доков на судостроительных заводах «Залив» (г. Керчь) и «Океан» в г. Николаеве показал, что тепловыделение зависит от многих факторов, которые необходимо учитывать при разработке технологии бетонирования. В течение ряда лет А. Р. Соловьянчиком проводились исследования тепловыделения цемента [10]. В ходе этих работ [11] на основе изучения физической сущности процесса гидратации цемента и обобщения многолетнего опыта получена теоретически и экспериментально обоснованная зависимость температурной функции кинетики гидратации цемента от вязкости воды затворения, вида цемента и вида теплового воздействия на бетон. Ниже изложены некоторые результаты исследований тепловыделения цементов в зависимости от таких технологических факторов, как условия

бетонирования, применение комплексных химических добавок и температура цемента, поступающего с цементных заводов.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследование тепловыделения цементов проводилось по специально разработанной методике, предложенной АО ЦНИИС [12], основные положения которой состоят в использовании составов бетонных смесей, выдерживаемых в условиях, максимально приближенных к реальным, до набора ими требуемой прочности с обязательным определением кинетики изменения температуры и тепловыделения бетонной смеси во времени при помощи термосного калориметра, которые требуются для расчёта теплового и собственного термонапряженного состояния в бетоне [13]. При изучении влияния условий бетонирования на тепловыделение цемента применялся сульфатостойкий цемент Ново-Амвросиевского завода, имеющий минералогический состав $C_3S$ – 45%, $C_2S$ – 35%, $C_3A$ – 3,5%, $C_4AF$ – 13%. Бетонная смесь имела следующий расход материалов на 1 м$^3$ бетона: цемент М400 – 280 кг, песок – 630 кг, щебень фр. 5–20 мм – 458 кг, щебень фр. 20-40 мм – 392 кг, щебень фр. 40–70 мм – 457 кг, вода – 134 л. При затворении бетона применялись добавки (в % от веса цемента): СНВ-П – 0,002%; КДТ – 0,07%. Обработка экспериментальных данных была выполнена с помощью ПК. Для достоверности получаемых результатов каждый опыт повторялся 2–3 раза.

Также было определено тепловыделение цемента следующих составов в термосном калориметре:

- цементного теста с В/Ц =0,3, помещённого в прибор непосредственно после затворения цемента водой и перемешивания;
- бетона, приготовленного в бетономешалке непосредственно на строительстве и помещённого сразу же после изготовления в прибор;
- бетона этого же состава, приготовленного в бетономешалке, провибрированного сразу же после изготовления и уложенного в прибор;
- такого же бетона, но провибрированного через 30–35 мин после приготовления и затем уложенного в прибор.

Как следует из анализа кривых интегрального тепловыделения (рисунок 1), условия бетонирования существенно влияют на тепловыделение цемента в начальные сроки твердения бетона. В первые 3–5 сут наименьшее тепловыделение наблюдается при испытании цементного теста, несколько больше у бетона, укладываемого без вибрирования и с вибрированием сразу после изготовления, и ещё больше у бетона, провибрированного через 30–35 мин после приготовления.

Увеличение тепловыделения цемента при твердении его в бетоне без вибрирования по сравнению с тепловыделением цементного теста можно объяснить тем, что инертные заполнители при перемешивании бетонной смеси в бетономешалке раздвигают слипшиеся цементные зёрна, деформируют и разламыва-

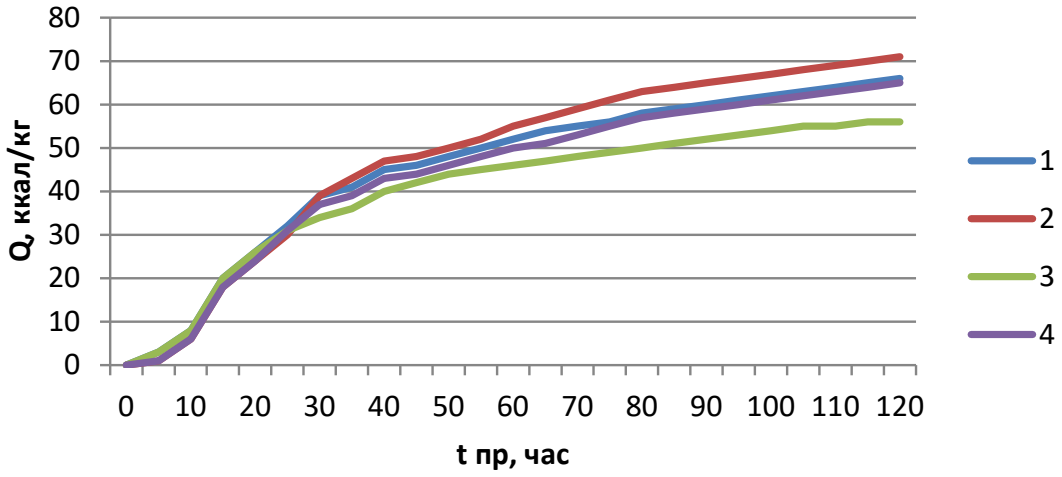



*Рисунок 1- Тепловыделение цемента: 1 – в бетоне, провибрированном сразу после затворения; 2 – в бетоне, провибрированном через 35 мин после замеса в бетономешалке; 3 – цементного теста на дистиллированной воде;4 – в провибрированном бетоне*
*Figure 1– Cement heat emission: 1 – in concrete, vibrated immediately after mixing; 2 – in concrete, vibrated after 35 minutes after kneading in a concrete mixer; 3 – cement paste, made on distilled water; 4 – in the vibrated concrete*

ют их, обеспечивая свободный доступ воды к большему количеству зёрен, чем при затворении цементного теста без заполнителей. Увеличение количества цементных зёрен, принимающих участие в реакции гидратации, т.е. увеличение реакционной поверхности, содействует ускорению процесса твердения бетона в молодом возрасте вследствие увеличения выхода продуктов гидратации. Увеличение количества продуктов гидратации при этом сопровождается увеличением количества выделяемого тепла.

Картина тепловыделения выглядит несколько по-другому при вибрировании бетона через некоторое время после его приготовления.

Обычно после повышения температуры бетона сразу после затворения водой за счёт теплоты смачивания начинается постепенное снижение температуры образца вследствие эндотермического процесса растворения цементных зёрен. Уменьшение температуры бетона прекращается лишь тогда, когда теплота образования конечных продуктов и теплоты смачивания промежуточных и конечных продуктов гидратации водой оказываются равными по абсолютной величине теплоте растворения цементных зёрен. Опыты показали, что условия бетонирования существенно влияют на характер изменения во времени всех видов теплот и на время, требуемое для выравнивания их абсолютных величин.

Исследования показали, что вибрирование бетона через 30–35 мин после приготовления бетонной смеси приводит к значительно большему снижению температуры исследуемых образцов и к запаздыванию начала подъёма температуры. Однако последующий подъём температуры образцов происходит при этом интенсивнее, чем подъём температуры образцов из цементного теста и бетона, провибрированного сразу после изготовления. Физическая сущность этого явления следующая. При гидратации цемента поверхность зёрен покрывается водой, и они начинают интенсивно растворяться. После насыщения раствора вокруг зёрен возникают плёнки новообразований, которые делают гидратацию не избирательной, а обуславливаемой диффузионными процессами через них и пограничный слой вглубь поверхности зерна. Продукты гидратации при этом откладываются в пограничном слое, в плёнке новообразований и выносятся наружу в поры, заполненные водой.

Скорость структурообразования при гидратации цемента, а следовательно, и интенсивность тепловыделения лимитируется разностью концентраций начальных (цемент и вода) и конечных (новообразований) продуктов и диффузией воды и промежуточных продуктов через пограничный слой и новообразования. Определяющими скорость гидратации и скорость тепловыделения при реакции гидратации цемента как гетерогенной реакции при температурах выше 20–25°С являются диффузионные процессы. При вибрировании бетона через 30–35 мин (или несколько позднее) новообразования и реакционные оболочки, покрывающие цементные зёрна, разрушаются, что обеспечивает свободный доступ воды к непрореагировавшей поверхности цементных зёрен. Вторично начинается усиленное растворение цементных зёрен, снижающее на некоторое время температуру образца вследствие преобладания эндотермического процесса растворения над экзотермическими процессами. Однако в рассматриваемом случае степень гидратации цементных зёрен за короткое время значительно увеличивается, что приводит к существенному увеличению выхода продуктов гидратации, и сопровождается увеличением количества выделяемого тепла на 10–20% в ранние сроки твердения бетона.

Следует отметить, что задержанное вибрирование наряду с увеличением интегрального изотермического тепловыделения увеличивает марочную прочность бетона. Это также можно объяснить увеличением степени гидратации цементных зёрен.

Исследованиями установлено, что время наибольшей интенсивности тепловыделения цемента соответствует времени образования пространственной кристаллизационной структуры в цементном камне, т.е. времени перехода бетонной смеси в бетон. Анализ интенсивности тепловыделения при различных условиях бетонирования показал, что при задержанном бетонировании время становления исследуемого бетона как материала происходит на 7 час приведённого времени (время твердения бетона в изотермических условиях при температуре 15°С) раньше, чем в цементном тесте и на 4 – 5 час раньше, чем в бетоне, провибрированном непосредственно после изготовления.

Таким образом, полученные результаты исследований по изучению влияния условий бетонирования на тепловыделение цемента в бетоне имеют значение не только при расчётах термонапряжённого состояния бетонных конструкций, но и для заводской технологии и для зимнего бетонирования.

Для изучения степени влияния химических добавок на тепловыделение цемента при твердении бетона было исследовано тепловыделение цементного теста, затворённого дистиллированной водой, водопроводной водой, водой с добавкой 2,5% от веса цемента $CaCl_2$, водопроводной водой с добавками СНВ-П и КДТ. Результаты проведённых опытов даны на рисунке 2.

Введение хлористого кальция в количестве 2,5% от веса цемента содействовало увеличению количества тепла, выделяемого в начальный период твердения раствора (до 20–22 час), и некоторому уменьшению количества выделяемого тепла при твердении раствора в более поздние сроки (здесь и далее сравнение с тепловыделением цемента, затворённого дистиллированной водой). Полученные данные согласуются с данными о нарастании прочности бетона с добавкой 2,5% $CaCl_2$, где также наблюдается уменьшение нарастания прочности в более поздние сроки твердения.

Исходя из этого можно сделать вывод, что при затворении цемента водным раствором электролита $CaCl_2$ создаются условия для увеличения интенсивности растворения алюминатов, действие которых также в значительной мере сказывается в первые сутки гидратации цемента.

Цемент, затворённый на водопроводной воде, содержащей различные минеральные примеси, основной из которых является $CaCl_2$, выделил в начальный период твердения несколько меньшее количество тепла, чем цемент с добавкой 2,5% $CaCl_2$. Однако уже после 30 час твердения цемента на водопроводной воде количество выделяемого тепла превысило тепловыделение с 2,5% $CaCl_2$ и на пятые сутки твердения выровнялось с количеством тепла, выделяемого цементом, затворённым на дистиллированной воде.

Цемент с добавками СНВ-П и КДТ, затворённый на водопроводной воде, выделил такое же количество тепла, как и цемент без добавок. В работе [14] показано, что добавка СНВ-П не только пластифицирует смесь, но и увеличивает тепловыделение цемента в первые сутки твердения. Сопоставление полученных результатов по одновременному влиянию СНВ-П и КДТ на тепловыделение цемента показывает, что добавка КДТ в среднем настолько снижает тепловыделение цемента, насколько его увеличивает добавка СНВ-П, т.е. добавки нейтрализуют друг друга.

Так как на строительную площадку прибывал цемент, имеющий температуру до 50÷110°С, было исследовано тепловыделение цемента, имеющего температуру + 75°С. Анализ приведённых на рисунке 3 данных показывает, что высокая температура цемента резко (в 1,5 – 2 раза) повышает интегральное изотермическое тепловыделение цемента. Такое явление можно объяснить тем, что с горячим цементом ещё не успел соприкоснуться водяной пар, содержащийся в воздухе, и создать защитную плёнку новообразований, предо-

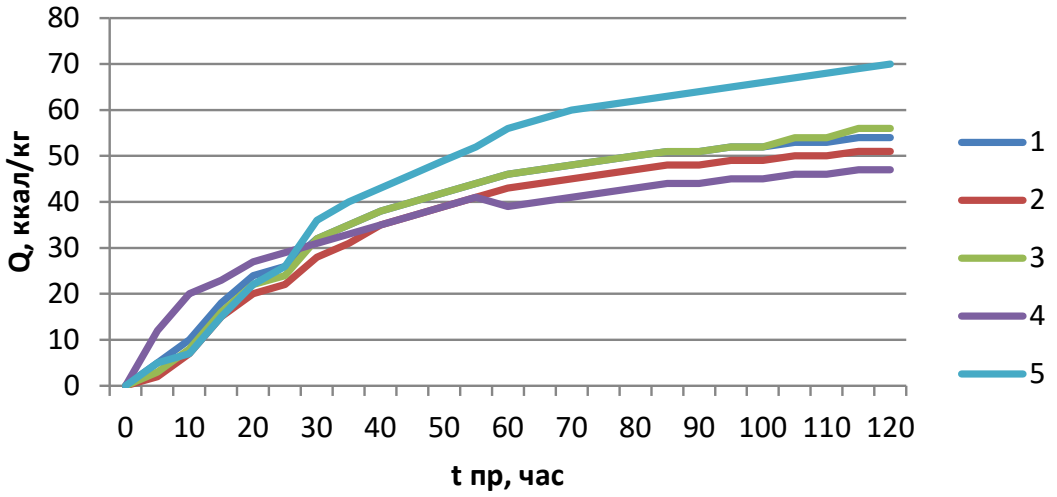



*Рисунок 2 – Тепловыделение цементного теста, затворённого: 1 – на дистиллированной воде; 2 – на водопроводной воде; 3 – то же, но с добавками СНВ-П и КДТ; 4 – то же, но с добавкой 2,5% $CaCl_2$: ---- –тепловыделение реального бетона*

*Figure 2 – Cement paste heat emission: 1 – on distilled water; 2 – on tapping water; 3 – with additions of START-II and KDT; 4 – with addition of 2.5% CaCl2: ---- – heat emission of real concrete*

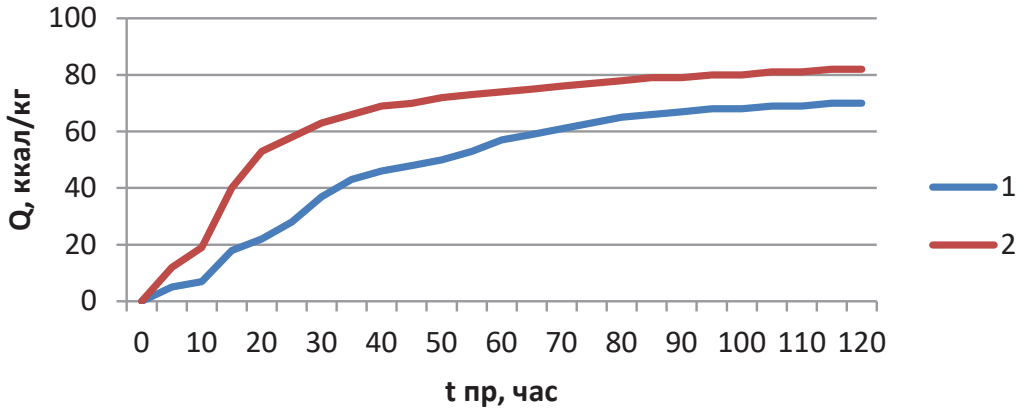



*Рисунок 3 – Тепловыделение:*
*1 – цемента в бетоне, провибрированного через 35 мин после изготовления;*
*2 – цементного теста из цемента, имеющего температуру 75°С*
*Figure 3 – Heat emission: 1 – cement in concrete, vibrated after 35 minutes after manufacturing;*
*2 – cement paste in cement mixture of 75 ° C temperature*

храняющую в дальнейшем зёрна цемента от интенсивной гидратации при затворении вяжущего водой. Вследствие того что раскрыты многочисленные микротрещины и поры, образующиеся при обжиге клинкера, цементные зёрна имеют увеличенную свободную поверхность, на которой может протекать реакция гидратации. При смачивании таких цементных зёрен водой в короткие промежутки времени образуется большое количество продуктов гидратации, начинается интенсивное структурообразование, сопровождаемое интенсивным тепловыделением [15, 16].

При отсутствии экспериментальных данных тепловыделение бетона в тепловых расчётах обычно определяется исходя из минералогического состава цемента, применяемого для приготовления бетона [15, 17, 18]. Анализ экспериментальных кривых интегрального тепловыделения (рисунок 4) показал, что тепловыделение бетона, укладываемого в конструкции, значительно превышает тепловыделение бетона, которое определено исходя из минералогического состава сульфатостойкого портландцемента, что потребовалось учесть при подборе составов бетонных смесей, применяемых при строительстве Керченского моста.

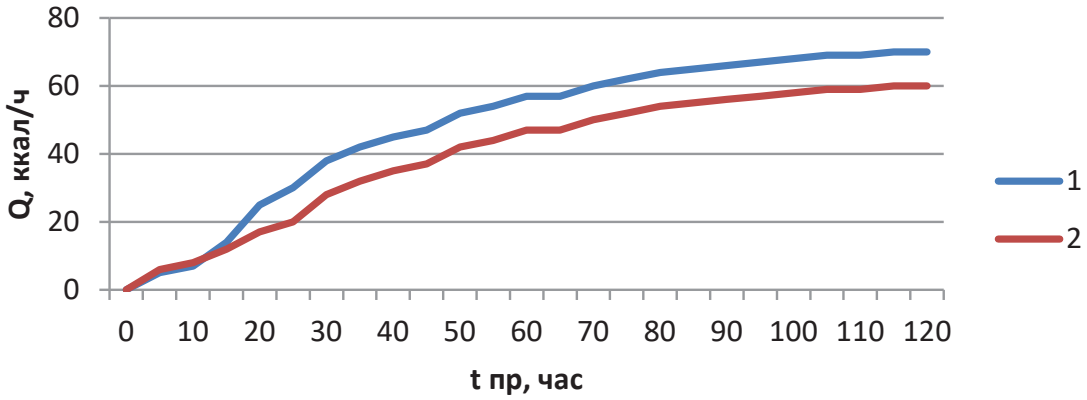



*Рисунок 4 – Тепловыделение бетона:*
*1 – провибрированного через 35 мин после затворения; 2 – рассчитанное по минералогическому составу*
*Illustration 4 – Heat emission of concrete: 1 – vibrated after 35 minutes after mixing; 2 – calculated by mineralogical composition*

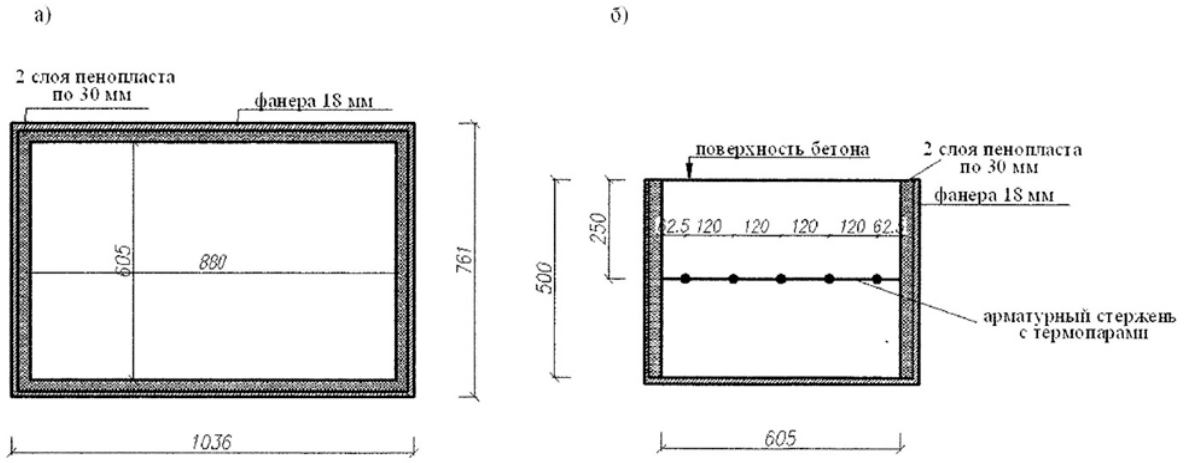



*Рисунок 5 – Опалубка бетонируемых образцов и расположение термопар а) вид сверху; б) вид сбоку*
*Figure 5 – Formwork of concrete samples and location of thermocouples a) top view; b) side view*

Исследования также показали, что для получения дополнительных данных по тепловыделению, необходимо исследовать реальные применяемые составы. В связи с этим возникла необходимость определения тепловыделения цементов, выпускаемых Новороссийским цементным заводом, – одним из основных поставщиков цементов для строительства Керченского моста.

Тепловыделение определялось методом решения обратной задачи [19, 20, 21]. Для этих целей были приготовлены две опалубочные формы из фанеры толщиной 18 мм с утеплением из двух слоёв пенопласта по 30 мм

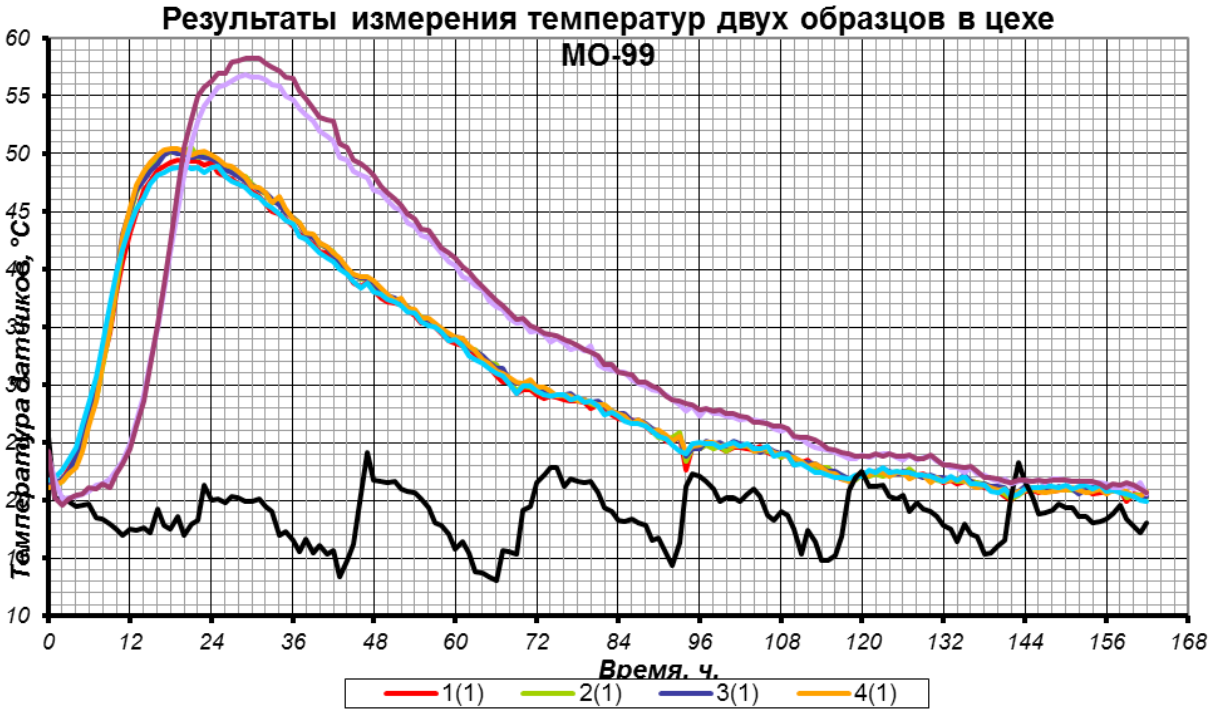



*Рисунок 6 – Результаты замера температур твердеющего бетона двух серий образцов*
*Illustration 6 – Results of temperature measurement in hardening concrete of two samples' series*

каждый. Внутри каждой формы (рисунок 5) был установлен арматурный стержень с прикреплёнными к нему термопарами, соединенными с приёмным устройством.

В заводских условиях были изготовлены замесы бетонной смеси класса В45 на портландцементе без минеральных добавок тип ЦЕМ 1 класса 42,5 и на сульфатостойком цементе тип ЦЕМ 1 класс 42,5 БСС. При изготовлении замесов применялся песок с $М_{кр}$ = 2,84; щебень фракции 5–20 мм и пластифицирующая добавка – Глениум 591.Подвижность бетонной смеси на портландцементе без минеральных добавок составила 18–20 см, на сульфатостойком цементе – 12–15 см осадки конуса. Температура в помещении составила 20°С, влажность – 56%.

После укладки бетонной смеси в опалубку ее открытая поверхность была закрыта полиэтиленовой плёнкой и дорнитом, включена запись показаний термопар, которая производилась в течение семи суток.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты измерения температур твердеющего бетона и температуры в помещении представлены на графике (рисунок 6). Максимальный разогрев образца на портландцементе без минеральных добавок составил на 8,5°С выше, чем образца на сульфатостойком цементе. Опыт показал, что бетон на бездобавочном цементе разогрелся значительно больше, чем на сульфатостойком цементе.

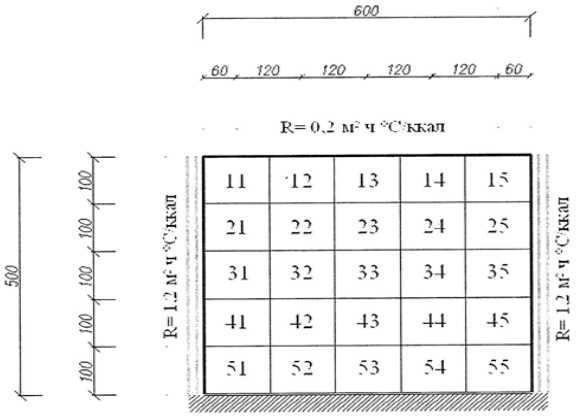



*Рисунок 7 – Расчётная схема бетонного блока*
*Figure 7 – Diagram of concrete block*

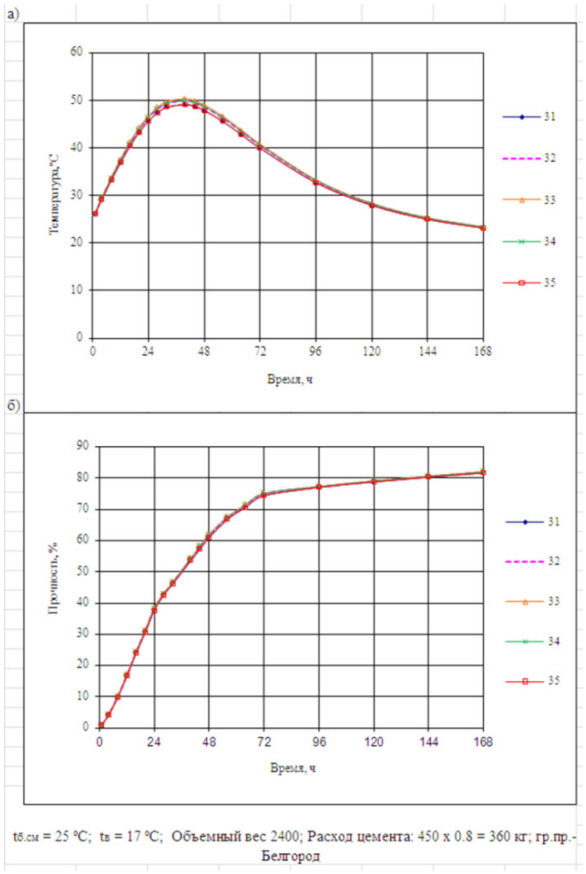



*Рисунок 8 – График набора температур (а) и прочности (б) сульфатостойкого цемента*
*Figure 8 – Graph of temperature (a) and strength (b) of the sulphate resistant cement*

Прочность бетона на седьмые сутки составила: для бетона класса В45 на портландцементе без минеральных добавок тип ЦЕМ 1 класса 42,5 – 62,57 и 58 МПа; для бетона класса В45 на сульфатостойком цементе класс 42,5 БСС – 54,55 и 51,5 МПа.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась путём сопоставления расчётных данных с экспериментальными данными. Расчёты проводились по ранее разработанной и много апробированной программе ZA, где были учтены особенности твердения бетона. В программе исследуемая область (рисунок 7, 8) разбивалась на блоки бетонирования с указанием их теплового взаимодействия с окружающей средой. Проведенные расчёты подтвердили полученные результаты, согласно которым бетон на сульфатостойком цементе имеет разогрев и, следовательно, тепловыделение меньше (рисунок 8), чем бездобавочный цемент ЦЕМ1 (рисунок 9).

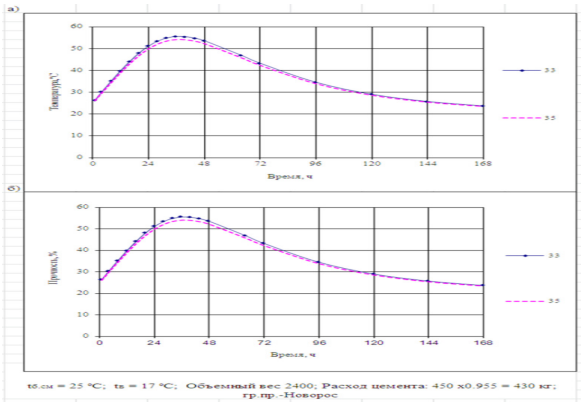



*Рисунок 9 – График набора температур бездобавочного цемента*
*Illustration 9 – Graph of cement temperature without additions*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования тепловыделения цемента в процессе твердения в бетоне позволили получить выводы, согласно которым:

- задержанное вибрирование бетонной смеси увеличивает тепловыделение цемента в процессе твердения в бетоне в начальные сроки его твердения (1–2 сут) в среднем на 6–9%, и данное изменение необходимо учитывать при проведении теплофизических расчётов температурного и прочностного режимов и термонапряженного состояния бетона в конструкциях путём введения в расчётную программу поправочного коэффициента или фактических данных тепловыделения по результатам проведения натурных испытаний;
- на основании проведенных испытаний в термосном калориметре установлено, что совместное применение комплексных добавок в количестве, рекомендуемом нормативными документами для повышения морозостойкости бетона, практически не сказывается на величине тепловыделения цемента в процессе твердения в бетоне;
- использование при приготовлении бетонной смеси горячего цемента с температурой более 60ºС, прибывающего на строительную площадку с цементного завода, увеличивает тепловыделение в среднем в 1,5 – 2 раза от величины тепловыделения бетонной смеси, приготовленной с использованием цемента с температурой 15–20ºС (с учётом массивности конструкции);
- фактическое тепловыделение цемента в процессе твердения в бетоне зачастую выше величины тепловыделения, рассчитанного по минералогическому составу цемента, в среднем на 10–15%;
- сульфатостойкий цемент может эффективно использоваться при производстве работ в жаркий период года в условиях интенсивного ведения строительства объекта, т.к. он обладает пониженным тепловыделением по отношению к обычному портландцементу ввиду пониженного содержания минералов цемента $C_3S$ и $C_3A$.

Полученные выводы легли в основу разработанных авторами статьи технологических регламентов на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении массивных опор (ростверки, стойки, ригели), возводимых на суше и в акватории, при строительстве автодорожного и железнодорожного мостов через Керченский пролив в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона [22, 23, 24, 25] и позволили обеспечить необходимый темп бетонирования конструкций с соблюдением требуемых сроков оборачиваемости опалубки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пуляев И.С., Пуляев С.М. К вопросу о максимальной температуре основания, при которой допускается укладка бетонной смеси при возведении транспортных сооружений // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. № 2. 2011. С. 295-304.

2. Соловьянчик А.Р., Пуляев И.С. Влияние особенностей теплообмена твердеющего бетона конструкций с окружающей средой на его трещиностойкость // Вестник ТюмГАСУ. №4. 2015. С. 60-64.

3. Соловьянчик А.Р., Пуляев И.С. Строительство вантового моста через р. Оку на обходе г. Мурома. Научные труды ОАО ЦНИИС «Исследование взаимодействия техносферных и природных компонентов транспортных природно-технических систем», №251. М.: ЦНИИС, 2008. С. 20–31.

4. Соколов С.Б. Влияние колебаний температуры воздуха в тепляках на температуру твердеющего бетона при возведении монолитных плитно-ребристых пролётных строений в холодный период года. Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», №213. М.: ЦНИИС, 2002. С. 167–172.

5. Смирнов Н.В., Антонов Е.А. Роль ползучести бетона в формировании термонапряжённого состояния монолитных железобетонных конструкций в процессе её возведения. Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», №213. М.: ЦНИИС, 2005. С. 89–117.

6. Соловьянчик А.Р., Коротин В.Н., Вейцман С.Г., Пуляев И.С. Возведение железобетонных пилонов вантового моста через р. Оку на обходе города Мурома. Вестник мостостроения. №2. М.: 2008. С.11–16.

7. Евланов С.Ф. Технологические трещины на поверхности монолитных пролётных строений. Научные труды ОАО ЦНИИС «Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов», № 208. М.: ЦНИИС, 2002. С. 27-36.

8. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы

методов зимнего бетонирования. М.: ГАСИС, 2004. – 470 с.

9. Шифрин С.А., Ткачёв А.В. Тепловое взаимодействие твердеющего бетона и бетонного основания в условиях солнечной радиации. Сборник трудов ВНИИПИТеплопроект. М.: ВНИИПИТеплопроект, 1985. С. 19-27.

10. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ. Л., Стройиздат, 1974. 80 с.

11. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Физические основы прогнозирования собственного термонапряжённого состояния бетонных и железобетонных конструкций. Сб. научных трудов ЦНИИС, №73. М.: ЦНИИС, 1972. С. 36–42.

12. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Исследование тепловыделения цемента в термосном калориметре ЦНИИСа. Сб. докладов «Методы экспериментального определения и расчёта тепловыделения в бетоне». – М.: ВНИИПИ Теплопроект, 1971. С .45–58.

13. Величко В.П., Цимеринов А.И. Методика прогнозирования термонапряжённого состояния цилиндрических бетонных массивов. Сб. научных трудов ЦНИИС, №73. М.: ЦНИИС, 1972. С. 117–129.

14. Соловьянчик А.Р. Энергосберегающие основы технологии изготовления мостовых и других железобетонных конструкций. Дисс. … д-ра техн. наук. М.: НИИЖБ, 1985. 403 с.

15. Шифрин С.А. Теплофизические основы формирования потребительских свойств конструктивных элементов транспортных сооружений из монолитного и сборно-монолитного железобетона. Дисс. … д-ра техн. наук. М.: ЦНИИС, 2007. 297 с.

16. Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Коротин В.Н., Вейцман С.А. Опыт использования неполного обжатия бетона для предупреждения появления трещин в конструктивных элементах транспортных сооружений. Научные труды ОАО ЦНИИС «Технология и качество возводимых конструкций из монолитного бетона», № 217. М.: ЦНИИС, 2003. С. 200–205.

17. Антонов Е.А. Методика технологического регулирования термонапряжённого состояния монолитных железобетонных транспортных сооружений. Дисс. … канд. техн. наук. М.: ЦНИИС, 2005. 229 с.

18. Соколов С.Б. Методы предупреждения трещинообразования в железобетонных плитно-ребристых пролётных строениях мостов на стадии разогрева бетона от экзотермии цемента. Дисс. … кандидата техн. наук. М.: ЦНИИС, 2006. 206 с.

19. Пуляев И.С. Методы регулирования теплового режима бетона при ускоренном возведении железобетонных элементов пилонов вантовых мостов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. М.:ЦНИИС, 2010. С. 9-11.

20. Пассек В.В., Заковенко В.В., Антонов Е.А., Ефремов А.Н. Применение искусственного охлаждения в процессе управления температурным режимом возводимых железобетонных арок. Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», №213. М.: ЦНИИС, 2002. С. 73–75.

21. Гинзбург А.В. Обеспечение высокого качества и эффективности работ при возведении тоннелей из монолитного бетона // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». № 1. 2014. С. 98–110.

22. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении опор, возводимых на суше и акватории при строительстве железнодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 259 с.

23. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении опор, возводимых на суше и акватории при строительстве автодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 207 с.

24. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении стоек опор 252 и 253 (участок 6 «фарватер») при строительстве автодорожного и железнодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 119 с.

25. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при сооружении плиты проезжей части автодорожных пролётных строений в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона М.: ЦЛИТ, 2016. 72 с.

# RESEARCH OF HEAT TREATMENT OF CEMENT USED IN CONSTRUCTION OF BRIDGE TRANSITION THROUGH KERCHEN STRAIT

***A.R. Solovyanchik, S.M. Pulyaev, I.S. Pulyaev***

**ABSTRACT**

***Introduction.*** *The article discusses the cements' heat generation issues used in the construction of the bridge across the Kerch Strait. This question is important because of the construction in dry hot climate's conditions.*

***Materials and methods.*** *The research is conducted with the use of modern information and analytical systems, which allow to obtain the results closing to real conditions. Therefore, the research results of the cement type influence on the dissipation rate and the nature changes of its integral isothermal heat dissipation are shown in the article. The modern design complex repeatedly tested in practice while carrying out thermal calculations of concrete hardening on different massive objects is applied for the research.*

***Results.*** *As a result, the recommendations by the cements of various types' usage in construction of the Kerch bridge and other similar extra-curricular facilities, which are included in the basis of the devel-*

*oped technological regulations for the production of preparatory, reinforcement, formwork and concrete year-round construction, are presented. The article would be interesting and useful for engineering specialists, who work in real construction conditions, and for experts, who deal with the problem of high consumer concrete properties' ensuring.*

**KEYWORDS:** *concrete, cement, heat emission, bridge, exothermic, comparative analysis, research.*

## REFERENCES

1. Pulyaev I.S., Pulyaev S.M. K voprosu o maksimalnoy temperature osnovaniya, pri kotoroy dopuskaetsya ukladka betonnoy smesi pri vozvedenii transportnyih sooruzheniy. [To the question about the maximum temperature of the substrate, which allowed the concrete mixture in the construction of transportation facilities.] Nauchno-tehnicheskiy zhurnal. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 2, pp. 295-304.

2. Solovyanchik A.R., Pulyaev I.S. Vliyanie osobennostey teploobmena tverdeyuschego betona konstruktsiy s okruzhayuschey sredoy na ego treschinostoykost. [Effect of heat exchange features of hardening concrete structures with the environment on its crack resistance.] *Vestnik TyumGASU*, 2015, no. 4, pp. 60-64.

3. Solovyanchik A.R., Pulyaev I.S. Stroitelstvo vantovogo mosta cherez r. Oku na obhode g. Muroma. [The construction of a bridge across the river Oka river on the bypass of the city of Murom.] *Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Issledovanie vzaimodeystviya tehnosfernyih i prirodnyih komponentov transportnyih prirodno-tehnicheskih sistem*» [Scientific works of JSC TsNIIS "*Research of interaction of technosphere and natural components of transport natural and technical systems*»] no. 251. Moscow, TsNIIS, 2008, pp. 20-31.

4. Sokolov S.B. Vliyanie kolebaniy temperaturyi vozduha v teplyakah na temperaturu tverdeyuschego betona pri vozvedenii monolitnyih plitno-rebristyih prolYotnyih stroeniy v holodnyiy period goda [The effect of air temperature fluctuations in thermal shelters on temperature of hardening concrete in the construction of monolithic plate-ribbed spans in the cold period of the year.] Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennyim kompyuteram» [Scientific works of JSC TsNIIS " *From hydraulic integrator to modern computers* »] no. 213. Moscow, TsNIIS, 2002, pp. 167-172.

5. Smirnov N.V., Antonov E.A. Rol polzuchesti betona v formirovanii termonapryazhYonnogo sostoyaniya monolitnyih zhelezobetonnyih konstruktsiy v protsesse eYo vozvedeniya. *Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennyim kompyuteram*» [The role of the creep of concrete in the formation of the thermally stressed state of monolithic reinforced concrete structures in the process of its construction.]. [Scientific works of JSC TsNIIS «*From hydraulic integrator to modern computers*»], no. 213. Moscow, TsNIIS. 2005, pp. 89-117.

6. Solovyanchik A.R., Korotin V.N., Veytsman S.G., Pulyaev I.S. Vozvedenie zhelezobetonnyih pilonov vantovogo mosta cherez r. Oku na obhode goroda Muroma [Erection of reinforced concrete pylons of cable-stayed bridge over the Oka river on the bypass of Murom]. *Vestnik mostostroeniya [Bulletin of bridge construction]*. no. 2. 2008, pp. 11-16.

7. Evlanov S.F. Tehnologicheskie treschinyi na poverhnosti monolitnyih prolYotnyih stroeniy. [Technological cracks on the surface of monolithic superstructures.] Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Problemyi normirovaniya i issledovaniya potrebitelskih svoystv mostov» [Scientific works of JSC TsNIIS «*Problems of standardization and research of consumer properties of bridges*»] no. 208. Moscow,TsNIIS, 2002, pp. 27-36.

8. Krasnovskiy B.M. Inzhenerno-fizi heskie osnovyi metodov zimnego betonirovaniya. [Engineering and physical bases of methods of winter concreting.] Moscow, GASIS, 2004. 470 p.

9. Shifrin S.A., TkachYov A.V. Teplovoe vzaimodeystvie tverdeyuschego betona i betonnogo osnovaniya v usloviyah solnechnoy radiatsii.[ Thermal interaction of hardening concrete and concrete base under the conditions of solar radiation.] Sbornik trudov VNIIPITeploproekt. [Collection of works All-Union scientific-research and design Institute Teploprjekt/] Moscow, VNIIPITeploproekt, 1985. pp. 19-27.

10. Syichev M.M. Tverdenie vyazhuschih veschestv. [Hardening of binders.] L., Stroyizdat, 1974. 80 p.

11. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Fizicheskie osnovyi prognozirovaniya sobstvennogo termonapryazhYonnogo sostoyaniya betonnyih i zhelezobetonnyih konstruktsiy. [Physical bases of prediction of own thermally stressed state of concrete and reinforced concrete structures.] Sb. nauchnyih trudov TsNIIS, no. 73. Moscow, TsNIIS, 1972, pp. 36-42.

12. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Issledovanie teplovyideleniya tsementa v termosnom kalorimetre TsNIISa. [Research of heat release of cement in a thermos calorimeter of the Central research Institute of construction] Sb. dokladov «Metodyi eksperimentalnogo opredeleniya i raschYota teplovyideleniya v betone». [Collection of reports "Methods of experimental determination and calculation of heat release in concrete».] Moscow, VNIIPI Teploproekt, 1971, pp.45-58.

13. Velichko V.P., Cimerinov A.I. Metodika prognozirovaniya termonapryazhyonnogo sostoyaniya cilindricheskih betonnyh massivov. [The technique of predicting the thermally stressed state of cylindrical concrete arrays.] Sb. nauchnyh trudov CNIIS, no. 73. Moscow,CNIIS, 1972, pp. 117-129.

14. Solovyanchik A.R. Energosberegayuschie osnovyi tehnologii izgotovleniya mostovyih i drugih zhelezobetonnyih konstruktsiy. [Energy-saving principles of manufacturing technology bridges and other concrete structures.] Diss. … d-ra tehn. nauk. Moscow, NIIZhB, 1985. 403 p.

15. Shifrin S.A. Teplofizicheskie osnovyi formirovaniya potrebitelskih svoystv konstruktivnyih elementov transportnyih sooruzheniy iz monolitnogo i sborno-monolitnogo zhelezobetona. [Thermophysical bases of formation of consumer properties of structural elements of transport constructions from monolithic and precast-monolithic reinforced concrete.] Diss. … d-ra tehn. nauk. Moscow, TsNIIS, 2007. 297 p.

16. Solovyanchik A.R., Shifrin S.A., Korotin V.N., Veytsman S.A. Opyit ispolzovaniya nepolnogo obzhatiya betona dlya preduprezhdeniya poyavleniya treschin v konstruktivnyih elementah transportnyih sooruzheniy. [Experience in the use of incomplete compression of concrete to prevent cracks in the structural elements of transport facilities.] Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Tehnologiya i kachestvo vozvodimyih konstruktsiy iz monolitnogo betona», [Scientific works of JSC TsNIIS «*Technology and the quality of the building structures of reinforced concrete* »] no. 217. Moscow, TsNIIS, 2003, pp. 200-205.

17. Antonov E.A. Metodika tehnologicheskogo regulirovaniya termonapryazhYonnogo sostoyaniya monolitnyih zhelezobetonnyih transportnyih sooruzheniy. [The technique of technological regulation of the heat-stressed state of monolithic reinforced concrete transport facilities.] Diss. … kand. tehn. nauk. Moscow, TsNIIS, 2005. 229 p.

18. Sokolov S.B. Metody preduprezhdeniya treshchinoobrazovaniya v zhelezobetonnyh plitno-rebristyh prolyotnyh stroeniyah mostov na stadii razogreva betona ot ehkzotermii cementa. [Methods for preventing cracking in reinforced concrete slab-ribbed spans of bridges at the stage of heating concrete from cement exothermic.] Diss. … kandidata tekhn. nauk. Moscow, TsNIIS, 2006. 206 p.

19. Pulyaev I.S. Metodyi regulirovaniya teplovogo rezhima betona pri uskorennom vozvedenii zhelezobetonnyih elementov pilonov vantovyih mostov. [Methods of regulation of thermal regime of concrete at accelerated erection of reinforced concrete elements of pylons of cable-stayed bridges.] Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchYonoy stepeni kandidata tehnicheskih nauk. Moscow, TsNIIS, 2010, pp. 9-11.

20. Passek V.V., Zakovenko V.V., Antonov E.A., Efremov A.N. Primenenie iskusstvennogo ohlazhdeniya v protsesse upravleniya temperaturnyim rezhimom vozvodimyih zhelezobetonnyih arok. [The use of artificial cooling in the process of controlling the temperature regime of reinforced concrete arches.] Nauchnyie trudyi OAO TsNIIS «Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennyim kompyuteram» [Scientific works of JSC TsNIIS «*From hydraulic integrator to modern computers* »] no. 213. Moscow, TsNIIS, 2002, pp. 73-75.

21. Ginzburg A.V. Obespechenie vyisokogo kachestva i effektiv osti rabot pri vozvedenii tonneley iz monolitnogo betona. [Ensuring high quality and efficienc of works at construction of tunnels from monolithic concrete]. *Nauchno-tehnicheskiy zhurnal Vestnik MGSU*, 2014, no. 1, pp. 98-110.

22. Tehnologicheskiy reglament na proizvodstvo podgotovitelnyih, opalubochnyih, armaturnyih i betonnyih rabot pri vozvedenii opor, vozvodimyih na sushe i akvatorii pri stroitelstve zheleznodorozhnogo mosta v usloviyah kruglogodichnogo stroitelstva s provedeniem teplofizicheskih raschYotov tverdeyuschego betona. [Technological regulations for the production of preparatory, formwork, reinforcement and concrete works for the construction of supports erected on land and water during the construction of the railway bridge in conditions of year-round construction with thermal calculations of hardening concrete]. Moscow, TsLIT. 2016. 259 p.

23. Tehnologicheskiy reglament na proizvodstvo podgotovitelnyih, opalubochnyih, armaturnyih i betonnyih rabot pri vozvedenii opor, vozvodimyih na sushe i akvatorii pri stroitelstve avtodorozhnogo mosta v usloviyah kruglogodichnogo stroitelstva s provedeniem teplofizicheskih raschYotov tverdeyuschego betona. [Technological regulations for the production of preparatory, formwork, reinforcement and concrete works for the construction of supports erected on land and water during the construction of a road bridge in conditions of year-round construction with thermal calculations of hardening concrete]. Moscow, TsLIT, 2016. 207 p.

24. Tehnologicheskiy reglament na proizvodstvo podgotovitelnyih, opalubochnyih, armaturnyih i betonnyih rabot pri vozvedenii stoek opor 252 i 253 (uchastok 6 «farvater») pri stroitelstve avtodorozhnogo i zheleznodorozhnogo mosta v usloviyah kruglogodichnogo stroitelstva s provedeniem teplofizicheskih raschYotov tverdeyuschego betona [Technological regulations for the production of preparatory, formwork, reinforcement and concrete works for the construction of pillars 252 and 253 (section 6 “fairway”) in the construction of road and railway bridges in conditions of year-round construction with thermophysical calculations of hardening concrete]. Moscow, TsLIT, 2016. 119 p.

25. Tehnologicheskiy reglament na proizvodstvo podgotovitelnyih, opalubochnyih, armaturnyih i betonnyih rabot pri sooruzhenii plityi proezzhey chasti avtodorozhnyih prolYotnyih stroeniy v usloviyah kruglogodichnogo stroitelstva s provedeniem teplofizic eskih raschYotov tverdeyuschego betona. [Technological regulations for the production of preparatory, formwork, reinforcement and concrete works for the construction of slabs of the roadway span structures in conditions of year-round construction with thermophysical calculations of hardening concrete]. Moscow, TsLIT, 2016. 72 p.

***Поступила 29.01.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Соловьянчик Александр Романович (г. Москва, Россия) – доктор технических наук, профессор ОАО «ЦЛИТ», Москва, Россия.*

*Solovyanchik Aleksandr Romanovich (Moscow, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor.*

*Пуляев Сергей Михайлович (г. Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доц. кафедры «Строительные материалы и материаловедение», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26).*

*Pulyaev Sergey Mihaylovich (Moscow, Russia) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Construction materials and engineering”, National Research Moscow State University of Civil Engineering” (129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe Hw).*

*Пуляев Иван Сергеевич (г. Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доц. кафедры «Строительные материалы и материаловедение», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26).*

*Pulyaev Ivan Sergeevich (Moscow, Russia) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Construction materials and engineering”, National Research Moscow State University of Civil Engineering” (129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe Hw).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Соловьянчик А.Р. Постановка задачи исследования, проведение испытаний, анализ результатов исследований.*

*Пуляев С.М. Проведение измерений, обработка результатов измерений, проведение расчётов.*

*Пуляев И.С. Проведение расчётов, обработки результатов измерений, редактирование и оформление статьи.*

УДК 691.33

# САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

***Р.С. Федюк, А.В. Мочалов[1], Д.Н. Пезин[1], Р.А. Тимохин[1]***
*[1]Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Разработка эффективных самоуплотняющихся бетонов является актуальной задачей для строительного материаловедения. Успешной реализацией задачи может служить применение золы рисовой шелухи в качестве альтернативного материала при производстве бетонов. Целью исследования было изучение влияния минерального наномодификатора на свойства самоуплотняющегося бетона.*

***Материалы и методы.*** *Минеральный наномодификатор был разработан с применением портландцемента, золы рисовой шелухи и кварцевой муки, совместно помолотых до удельной поверхности 500-900 м$^2$/кг. Суперпластификатор «ХИДЕТАЛ» использовался для снижения водоцементного отношения. Свойства смеси были протестированы на реологические характеристики. Плотность образцов измеряли методом Архимеда. Исследование микроструктуры бетона проводилось электронной микроскопией. Прочность на сжатие образцов была получена в возрасте 7 и 28 дней.*

***Результаты.*** *Наиболее эффективная тонкость помола наномодификатора – 550 м$^2$/кг. Максимальный прирост прочности и лучшие реологические характеристики в сравнении с чистым тонкомолотым портландцементом достигаются введением наномодификатора в количестве 10,5 %. Однако, по разбросу модуля упругости образцов не прослеживается зависимость от количества наномодификатора. Модуль упругости самоуплотняющегося бетона в первую очередь зависит от количества крупного заполнителя. Пуццолановая реакция способствует увеличению прочности на сжатие бетона в позднем возрасте путем улучшения межфазной связи между цементным тестом и заполнителем.*

***Обсуждение и заключения.*** *Отходы растениеводства обладают потенциалом для использования в качестве замены портландцемента в самоуплотняющемся бетоне, сохраняющем механические и эксплуатационные характеристики бетонной смеси и готового бетона. Площадь удельной поверхности золы была увеличена механохимической активацией. Включение золы привело к снижению удобоукладываемости бетона, однако с помощью дополнительного суперпластификатора данные свойства для всех образцов были выровнены. Увеличение содержания наномодификатора привело к снижению ранних физико-механических свойств, тогда как конечная прочность самоуплотняющегося бетона, содержащего наномодификатор, была сопоставима с обычными образцами.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** *цементный камень, композиционное вяжущее, нанодисперсная добавка, самоуплотняющийся бетон, зола рисовой шелухи, пуццолановые материалы, свойства бетонной смеси, механические свойства, удобоукладываемость.*

**БЛАГОДАРНОСТИ.** *Выражаем благодарность за ценные консультации д.т.н., проф. Лесовику В.С. Также выражаем благодарность анонимным рецензентам этой статьи.*

## ВВЕДЕНИЕ

Самоуплотняющийся бетон (СУБ) характеризуется тем, что под собственным весом дисперсно-армированная бетонная смесь полностью заполняет опалубку без необходимости внешнего уплотнения. Сопротивление расслоению и адаптивность позволяют СУБ оставаться однородным и сохранять стабильные характеристики. Самоуплотняющийся бетон в основном характеризуется замечательной удобоукладываемостью бетонной смеси. Сокращение трудозатрат и время строительства, улучшение качества готовой поверхности делают самоуплотняющийся бетон лучше обычного бетона. Тем не менее, производство самоуплотняющегося бетона с высокой удо-

боукладываемостью и требуемой прочностью требует большего количества цемента и добавления дорогостоящих химических примесей для уменьшения количества водо-вяжущего отношения, что приводит к увеличению стоимости самоуплотняющегося бетона. Кроме того, при производстве происходит больше выбросов углекислого газа по сравнению с технологией производства обычного бетона. А также, более высокий расход портландцемента в смеси СУБ приводит к увеличению энергии гидратации и высокой аутогенной усадке [1].

Добавление пуццолановых материалов ведет к экономии энергозатрат и материалов, экономической эффективности, долговечности, увеличению производительности рабочих мест [2]. Кроме того, достигаются лучшие эксплуатационные характеристики бетона за счет снижения энергии гидратации и аутогенной усадки. Вдобавок к этому, с точки зрения экологических соображений снижение расхода цемента приводит к экономии энергии и ресурсов, а также к существенному сокращению выбросов парниковых газов [3–4].

Чулкова И.Л. занималась вопросами повышения эффективности строительных композитов с использованием техногенного сырья регулированием процессов структурообразования [5]. Предложен и реализован системный подход к проблеме регулирования и повышения эффективности строительных композитов на основе техногенного сырья, путем варьирования состава и гранулометрии вяжущих и минеральных добавок, электролитов, органических модификаторов и др. факторов. При этом в качестве элементов системного анализа приняты минеральный и гранулометрический состав цементов, минеральных добавок, неорганических и органических добавок, содержание пор различного размера, в том числе нанопор и т.д.

Казлитина О.В. [6] разработала фибробетон для монолитного строительства. В ходе работы было установлено, что домол цемента с пластифицирующей добавкой до удельной поверхности 600 м2/кг, а также с использование нанодисперсного порошка (Sуд=160000 м2/кг), полученного из гидротермальных источников вулкангогенных областей позволяет получить вяжущее активностью 120 МПа. Нанодисперный порошок вводится в количестве 0,01 %, что ускоряет процесс синтеза новообразований, связывая выделяющиеся при гидратации алита CaO в гидросиликаты различной основности.

S. Chithra (Индия) исследовал влияние коллоидного нано-кремнезема на удобоукладываемость, механические и долговечные свойства высокоэффективного бетона с медным шлаком в виде мелкозернистого заполнителя [7]. Результаты показывают, что коллоидный нанокремнезем действует как наполнитель, который улучшает микроструктуру, а также активатор для стимуляции пуццоланового действием.

Коллектив испанских ученых (M. Sánchez, M.C. Alonso, R. González) занимался уплотнением схватившегося раствора путем управлением миграцией коллоидного нанокремнезема за счет электрохимической обработки [8].

Средневосточный технический университет (Анкара, Турция) разработал гибридный самоуплотняющийся бетон с крупнозернистой золой уноса, которая не соответствует требованиям к тонкости ASTM C 618. Результаты показали, что крупнозернистая зола может быть использована для производства самоуплотняющегося бетона, армированного волокнами, однако, отмечается некоторое снижение прочности бетона. [9,10].

В мире ежегодно образуется почти сто миллионов тонн обычной рисовой шелухи, являющейся прекрасным сырьём – дешёвым, возобновляемым, с химическим составом, постоянным для данного региона и сорта растения, пригодным для получения около 15 миллионов тонн чистого аморфного кремнезёма. В частности по данным проф. Л. Земнуховой, из 1 тонны рисовой шелухи возможно получить от 120 до 200 кг кремнезёма с содержанием SiO2 от 90 до 99,999%. Кроме того, с позиций защиты окружающей среды, утилизация отходов является одной из приоритетных задач. Успешной реализацией этой задачи может служить применение золы рисовой шелухи (ЗРШ) в качестве альтернативного материала при производстве бетонов [11-12].

Поэтому обилие ЗРШ, сопряженное с большим содержанием в них SiO2, открывает путь для ее использования в качестве частичной замены портландцемента и разработки бетона с высокими физико-механическими характеристиками [13]. В частности, добавка ЗРШ улучшает прочность бетона, из-за увеличения количества CSH геля в процессе гидратации с течением времени. Однако, насколько известно авторам, использование ЗРШ в качестве пуццоланового материала в качестве частичной замены портландцемента не было широко исследовано в самоуплотняющемся бетоне. Учитывая агломерацию частиц и присущие им

высокие требования к водопотреблению при добавлении ЗРШ, ожидается, что ее включение в самоуплотняющийся бетон на основе портландцемента уменьшит жесткость смеси и, следовательно, будет оказывать неблагоприятное воздействие на свойства матрицы схватывающегося бетона.

Таким образом, целью данного исследования было изучение влияния минерального наномодификатора (МН) на свойства самоуплотняющегося бетона.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Минеральный наномодификатор был разработан с применением портландцемента, золы рисовой шелухи и кварцевой муки, взятых в равных пропорциях.

Для образцов применялся Спасский товарный цемент марки ЦЕМ I 42,5Н. Химический состав цемента, определенный методом рентгенофазового анализа приведен в таблице 1. Соотношение содержания основных компонентов представленного образца цемента указывает на его соответствие ГОСТ 31108-2003.

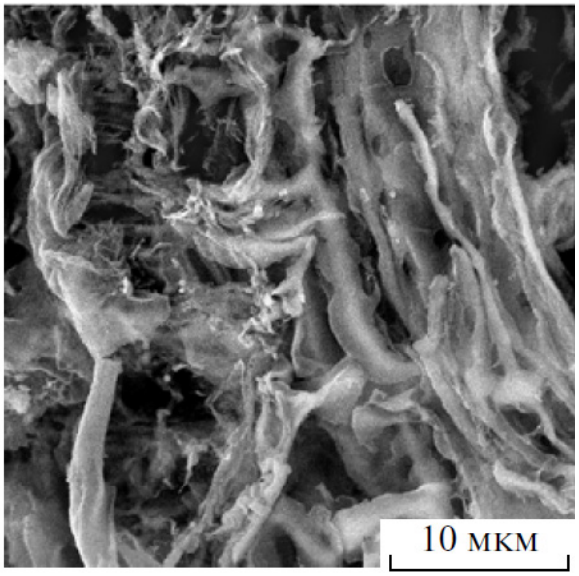



*Рисунок 1 – Микрофотографии образцов аморфного кремнезема, полученных из рисовой шелухи*
*Figure 1 – Microphotographs of amorphous silica samples obtained from rice husk*

Таблица 1
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СПАССКОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА
Table 1
CHEMICAL COMPOSITION OF THE SPASSKY PORTLANDCEMENT

| CaO | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | $CaO_{св}$ | п п п |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 66,2-67 | 20,2-20,9 | 6,0-6,7 | 3,5-4,0 | 1,4-2,0 | До 1,2 | 0,18 |

Таблица 2
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ЕЕ ЗОЛЫ [14]
Table 2
CHEMICAL COMPOSITION OF RICE HUSK AND ITS ASH [14]

| Сырье | CaO | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | $SO_3$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | п п п |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Шелуха | 0,61 | 15,64 | 0,24 | 0,12 | 0,45 | 0.18 | 0.48 | 0.28 | 82 |
| Зола | 3,36 | 85,48 | 1,33 | 0,64 | 1,93 | 0.45 | 2.09 | 1.57 | 1.68 |

Таблица 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА
Table 3
DETERMINATION OF THE GRAIN COMPOSITION OF SAND

| № пробы | Содержание грубозернистых примесей, % | | Остатки на ситах, % | Гранулометрический состав Размеры сит, мм | | | | | | Модуль крупности |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | св. 10 мм | св 5 мм | | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 | <0,15 | |
| 1 | - | - | частные | - | 0,5 | 11,5 | 62,0 | 23,5 | 2,5 | 1,8 |
| | | | полные | - | 0,5 | 12,0 | 74,0 | 97,5 | 100 | |
| 2 | - | - | частные | 2,0 | 6,5 | 34,5 | 41,5 | 13,0 | 2,5 | 2,4 |
| | | | полные | 2,0 | 8,5 | 43,0 | 84,5 | 97,5 | 100 | |

*Рисунок 2 – Распределение частиц по размерам для доизмельченной золы и портландцемента*
*Figure 2 – Particle size distribution for pre-ground ash and Portland cement*

В качестве компонента минерального наномодификатора применялась зола рисовых растений, выращенных в Ханкайском районе Приморского края (табл. 2).

Микрофотографии образцов аморфного кремнезема, полученных из рисовой шелухи, приведены на рис 1. Видно, что в случае кислотного гидролиза сырья с последующим прокаливанием, полученный кремнезем в некоторой степени сохраняет структуру растительных тканей. Образец состоит из частиц размером до 300 мкм, поверхность которых повторяет рельеф плодовой оболочки. На разломе этих частиц при большем увеличении видно, что их толща не монолитная, а состоит из тонких ажурных структур с толщиной элементов 1 мкм и менее [15].

На рисунке 2 приведено распределение частиц по размерам для доизмельченной золы и портландцемента.

В качестве инертного наполнителя применялась кварцевая мука SILVERBOND (Раменский горно-обогатительный комбинат). SILVERBOND полностью инертен, pH нейтрален и поэтому не будет изменяться или вступать в реакцию при введении в катализированные или многокомпонентные химические системы, а также не будет разрушаться при

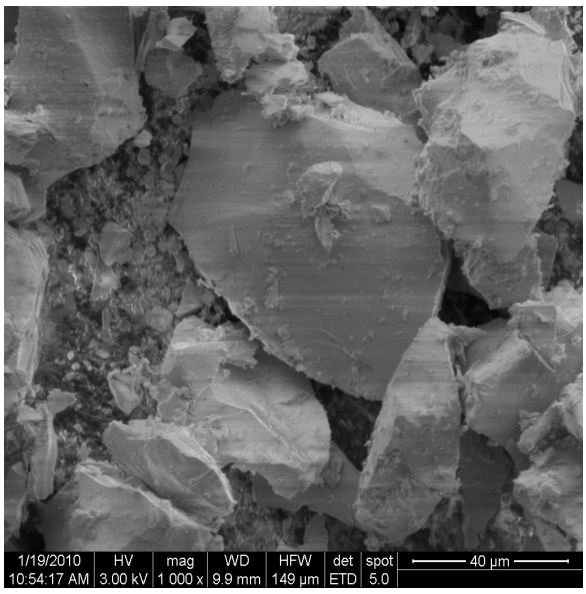



*Рисунок 3 – Микроструктура кварцевой муки*
*Figure 3 – Microstructure of quartz flour*

воздействии экстремальных температур или агрессивных сред. Микроструктура кварцевой муки приведена на рисунке 3.

Минеральный наномодификатор готовился совместным помолом портландцемента, золы рисовой шелухи и кварцевого микронаполни-

а б

*Рисунок 4 – Определение осадки конуса: а – для обычной бетонной смеси; б – для самоуплотняющейся бетонной смеси*
*Figure 4 – Determination of the slump: a – for a typical concrete mix; b – for self-compacting concrete*

теля до различной удельной поверхности от 500 до 900 м2/кг.

В качестве мелкого заполнителя применялся песок Раздольненского месторождения, зерновой состав которого приведен в табл. 3.

По зерновому составу и значению модуля крупности песок № 1 относится к очень мелким, кроме того, имеет повышенное содержание пылевидных примесей, поэтому применение данного вида песка экономически невыгодно. Песок №2 относится к средним пескам и удовлетворяет по всем показателям требованиям ГОСТ 8735–88. Поэтому для дальнейших исследований применялся песок № 2.

Суперпластификатор «ХИДЕТАЛ-ГП-9 альфа А» (СКТ-Стандарт, Россия) использовался в самоуплотняющемся бетоне для снижения водоцементного отношения.

Свойства бетонной смеси были протестированы в соответствии с [16–18] для удобоукладываемости и сопротивления расслоению после смешивания. Первоначально смеси исследовались на осадку конуса за 50 секунд (рис. 4)

Если оба теста соответствуют стандартным требованиям, то смеси будут подвергаться тестам V-funnel, L-box, U-box и тесту на расслаиваемость с использованием Static Segregation Column Mold– HC-3666.

Прочностные характеристики бетонной смеси определялись сразу же после смешивания. Затем из бетонной смеси заформовали кубы с ребром 100 м и призмы 100 х 100 х 500 мм в два слоя по 5 см каждый. Бетонная смесь заполняла формы под собственным весом, без дополнительного уплотнения. Затем верхнюю поверхность образцов сглаживали и выравнивали вручную. После заливки все образцы выдерживались в течение 24 ч в условиях окружающей среды. Затем образцы вынимались из формы и выдерживались в воде при 25±3°C до дня тестирования.

Объемную плотность конечных образцов измеряли с использованием метода Архимеда. Для наблюдения влияния содержания минерального наномодификатора на микроструктуру самоуплотняющегося бетона были получены снимки электронной микроскопии (FESEM Carl Zeiss CrossBeam 1540XB). Прочность на сжатие образцов была получена на 100 мм кубах в возрасте 7 и 28 дней. Все механические тесты были выполнены с использованием Servo-hydraulic Fatigue and Endurance Tester Shimadzu Servopulser U-типа с максимальной нагрузкой 200 kH в соответствии с BS EN 12390-3:2002.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Составы разработанных бетонных смесей приведены в таблице 4.

С целью определения максимальной эффективности действия МН на цементный камень было произведено двухфакторное варьирование: первый фактор - оптимальная

Таблица 4
СОСТАВЫ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ (В КГ НА 1 М³ СМЕСИ)
Table 4
COMPOSITION OF CONCRETE MIXTURES (KG PER 1 M3 MIXTURE)

| № п/п | Цемент | Наномодификатор | Песок | Суперпластификатор | Вода |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 336 | 0 | 1648 | 3,9 | 170 |
| 2 | 331,5 | 4,5 | 1648 | 3,9 | 170 |
| 3 | 327 | 9 | 1648 | 4,0 | 170 |
| 4 | 322,5 | 13,5 | 1648 | 4,0 | 170 |
| 5 | 318 | 18 | 1648 | 4,1 | 170 |
| 6 | 313,5 | 22,5 | 1648 | 4,1 | 170 |
| 7 | 309 | 27 | 1648 | 4,2 | 170 |
| 8 | 304,5 | 31,5 | 1648 | 4,2 | 170 |
| 9 | 300 | 36 | 1648 | 4,3 | 170 |

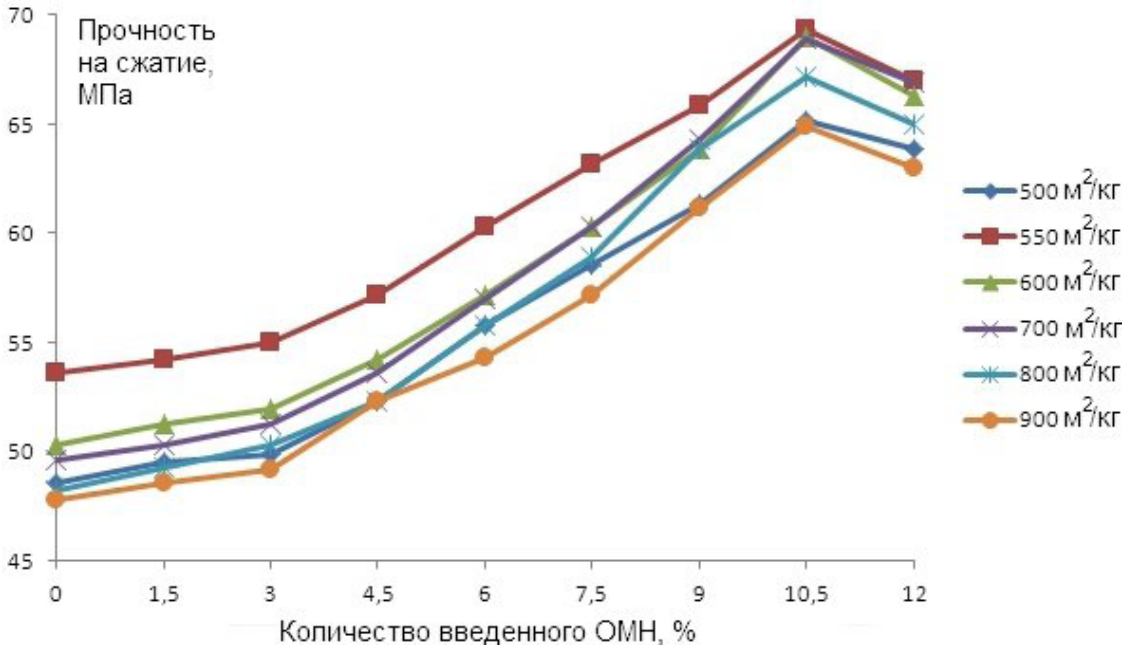



*Рисунок 5 – Зависимость прочности на сжатие от количества введенного МН*
*Figure 5 – Dependence of compressive strength on the amount of injected ONM*

дозировка (0-12%), второй фактор – тонкость помола (500 – 900 м²/кг). В качестве контрольного образца выступал чистый цементный камень.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективная тонкость помола наномодификатора – 550 м²/кг. Дальнейшее увеличение тонкости помола, судя по рис. 5, оказывает отрицательное влияние на структурообразование и не приводит к росту прочности. Максимальный прирост прочности порядка 25 % в сравнении с чистым тонкомолотым портландцементом достигается при введении наномодификатора в количестве 10,5 %. Дальнейшее увеличение содержания добавки в системе приводит к сбросу прочности, что обусловлено разбавлением системы, а также увеличением водопотребности смеси.

Таблица 5
СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ
Table 5
PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURE

| Кол-во введенного МН, % | Неограниченная текучесть | | | Ограниченная текучесть | | Стабильность |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Осадка конуса (мм) | Осадка конуса ($T_{50см}$) | V-funnel тест (с) | U-box $H_2$-$H_1$ (мм) | L-box $H_2/H_1$ | Тест на расслаиваемость (%) |
| 0 | 710 | 3 | 6,1 | 3 | 0,97 | 6,7 |
| 1,5 | 680 | 4,25 | 8,7 | 14 | 0,88 | 10,9 |
| 3 | 700 | 3 | 6,5 | 6 | 0,93 | 8,8 |
| 4,5 | 690 | 4,16 | 8,5 | 12 | 0,89 | 10,7 |
| 6 | 700 | 3 | 6,5 | 6 | 0,93 | 8,8 |
| 7,5 | 700 | 4,10 | 8,3 | 10 | 0,90 | 10,5 |
| 9 | 710 | 4,05 | 8,2 | 9 | 0,91 | 10,3 |
| 10,5 | 730 | 3 | 6,0 | 3 | 0,98 | 6,3 |
| 12 | 670 | 4,55 | 8,7 | 20 | 0,84 | 13,8 |

Таблица 6
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА
Table 6
MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE

| Кол-во введенного МН, % | Предел прочности при сжатии (7 дней), МПа | Предел прочности при сжатии (28 дней), МПа | Призменная прочность, МПа | Модуль упругости, ГПа |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 36,1 | 48,2 | 38,0 | 27,2 |
| 1,5 | 35,6 | 49,3 | 38,9 | 26,1 |
| 3 | 37,0 | 50,0 | 40,2 | 26,2 |
| 4,5 | 37,4 | 52,2 | 41,0 | 25,6 |
| 6 | 34,6 | 55,5 | 37,0 | 27,8 |
| 7,5 | 35,2 | 58,2 | 38,0 | 32,3 |
| 9 | 35,6 | 60,9 | 38,9 | 33,6 |
| 10,5 | 36,3 | 64,2 | 40,0 | 32,3 |
| 12 | 33,1 | 62,1 | 36,3 | 34,5 |

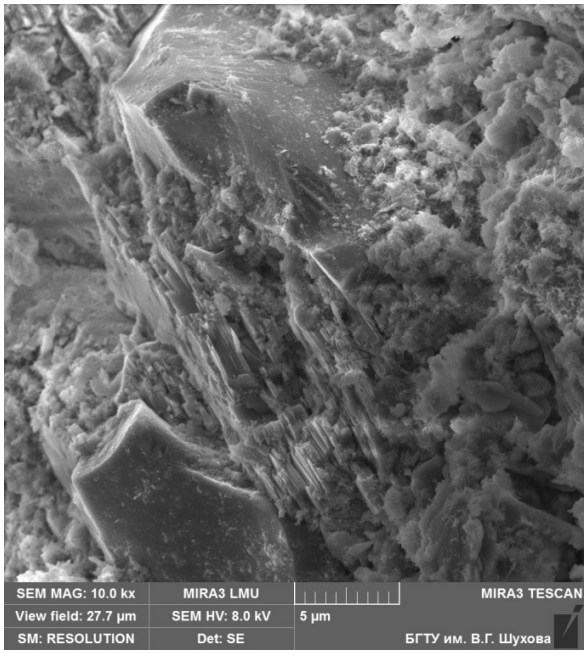
Для снижения водоцементного отношения в самоуплотняющемся бетоне применялся суперпластификатор «ХИДЕТАЛ-ГП-9 альфа А» в количестве 1,1-1,4% от массы цемента. Результаты исследований свойств бетонной смеси приведены в табл. 5.

Для определения параметров неограниченной текучести все бетонные смеси были спроектированы таким образом, чтобы иметь осадку конуса среднего диаметра 680 ± 30 мм, который был достигнут за счет использования различных величин суперпластификатора. Наилучшие реологические характеристики были выявлены в бетонной смеси с введенным МН в количестве 10,5%.

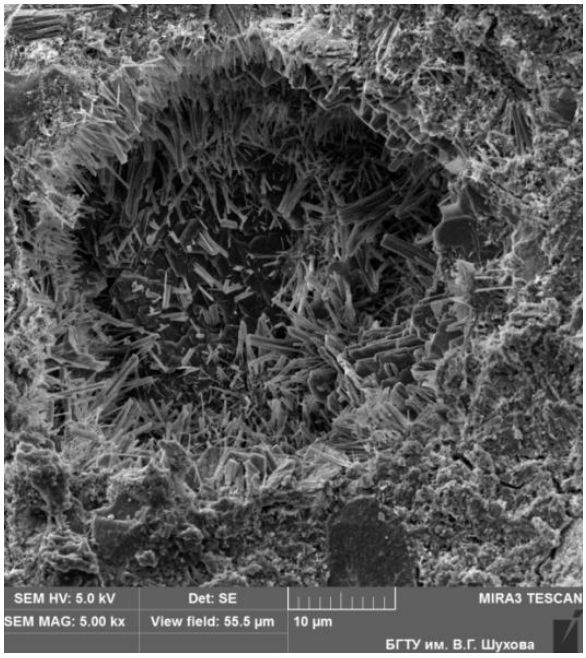
Прочностные характеристики определялись в возрасте 7 и 28 суток (табл. 6).

Прочность на сжатие для образца с введенным МН в количестве 10,5% показывает наилучшие характеристики. Однако, по разбросу модуля упругости образцов не прослеживается зависимость от количества введенного органо-минерального наномодификатора. Очевидно, что модуль упругости самоуплотняющегося бетона в первую очередь зависит от количества крупного заполнителя, что было выявлено ранее [19, 20].

Как правило, процесс гидратации композиционного вяжущего можно разделить на две основные стадии [21,22]. Первая стадия в основном связана с реакцией цемента и воды; вторая стадия связана с пуццолановой активностью золы с новообразованиями портландита от гидратации цемента. В результате реакции алита и воды образуется C-S-H гель и портландит. Поскольку упрочнение геля C-S-H является основным фактором увеличения прочности бетона, уменьшение содержания




а




б

*Рисунок 6 – Микрофотографии цементного камня без добавок (а) и цементного камня с заменой 10,5% цемента золой рисовой шелухи (б)*
*Figure 6 – Microphotographs of cement stone without additives (a) and cement stone with replacing 10,5% of cement by rice husk ash (b)*

портландцемента привело к снижению прочности бетона. Между тем, аморфный диоксид кремния (золы рисовой шелухи) способен реагировать с портландитом и генерирует вторичный гель C-S-H (рис. 6).

Поэтому упрочнение бетона происходит на более позднем этапе по сравнению с цементным бетоном. С другой стороны, пуццолановая реакция в основном способствует увеличению прочность на сжатие бетона в более позднем возрасте путем улучшения межфазной связи между цементным тестом и заполнителем. Кроме того, мельчайшие частицы золы улучшают прочность бетона, заполняя промежутки между частицами цемента.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Таким образом, в ходе исследования физико-механических свойств самоуплотняющегося бетона с частичной заменой портландцемента минеральным наномодификатором было выявлено следующее. Как правило, зола рисовой шелухи в качестве вторичного материала обладает большим потенциалом для использования в качестве замены портландцемента в самоуплотняющемся бетоне, сохраняющем механические и эксплуатационные характеристики бетонной смеси и готового бетона в приемлемом диапазоне. Площадь удельной поверхности ЗРШ была увеличена с использованием механо-химической активации.

Включение ЗРШ привело к снижению удобоукладываемости бетона, однако с помощью дополнительного суперпластификатора данные свойства самоуплотняющегося для всех образцов были почти одинаковыми. Увеличение содержания минерального наномодификатора привело к снижению ранних физико-механических свойств, тогда как конечная прочность самоуплотняющегося бетона, содержащего ОМН, была сопоставима с обычными образцами. Это было достигнуто за счет пуццолановой активности ЗРШ. Включение ЗРШ уменьшило количество портландита в системе за счет получения дополнительного геля C-S-H, что привело к уплотнению матрицы и блокированию сетей с открытой пористостью.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ranjbar N., Behnia A., Alsubari B., Birgani P.M., Jumaat M.Z. Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash. Journal of Cleaner Production. 2016. No. 112. Pp. 723-730.

2. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. No. 221(1). Pp. 012011

3. Lesovik V.S., Urkhanova L.A., Gridchin A.M., Lkhasaranov S.A. Composite binders on the basis of pearlite raw material of Transbaikalia. Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 9(12). Pp. 1016-1020.

4. Ranjbar N., Kuenzel C. Influenc of preheating of fl ash precursors to produce geopolymers. J Am Ceram Soc. 2017. No. 00. Pp. 1-10.

5. Чулкова И.Л. Повышение эффективности строительных композитов с использованием техногенного сырья регулированием процессов структурообразования.– автореф. дисс. …д.т.н. 05.23.05. Белгород, 2011. 39 с.

6. Казлитина О.В. Фибробетон для монолитного строительства. – автореф. дисс. … к.т.н. 05.23.05. – Белгород, 2013. 22 с.

7. S. Chithra, S.R.R. Senthil Kumar, K. Chinnaraju. The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate. Construction and Building Materials, Vol. 113, 2016. Pp. 794-804.

8. Sánchez M., Alonso M.C., González R.. Preliminary attempt of hardened mortar sealing by colloidal nanosilica migration. Construction and Building Materials. Vol. 66, 2014. Pp. 306-312.

9. Aydin A.C. Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete. Construction and Building Materials. Vol. 21, Is. 6, 2007. Pp. 1149-1154.

10. Sahmaran M, Yaman I.O.. Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash. Construction and Building Materials. Vol. 21, Is. 1, 2007. Pp. 150-156.

11. Zemnukhova L.A., Panasenko A.E., Artemyanov A.P., Tsoy E.A. Dependence of porosity of amorphous silicon dioxide prepared from rice straw on plant variety. BioResources. 2015. No.10(2). Pp. 3713-3723.

12. Pelin G., Pelin C.-E., Ştefan, A., Dincă I., Andronescu E., Ficai A. Mechanical and tribological properties of nanofilled phenolic-matrix laminated composites. Materiali in Tehnologije. 2017. No.51(4). Pp. 569-575

13. Shi C., Wu Z., Cao Z., Ling T.C., Zheng J. Performance of mortar prepared with recycled concrete aggregate enhanced by CO2 and pozzolan slurry. Cement and Concrete Composites. 2018. No.86. Pp. 130-138

14. Голубев В.А., Пузырёв Е.М., Мухоедов И. Разработка технологии производства аморфного диоксида кремния из рисовой лузги // Горение топлива: теория, эксперимент и приложения: Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2015 [Электронный ресурс]. Адрес доступа: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D2_S2-9.pdf.

15. Земнухова Л.А., Панасенко А.Е., Цой Е.А., Федорищева Г.А., Шапкин Н.П., Артемьянов А.П., Майоров В.Ю. Состав и строение образцов аморфного кремнезема // Неорганические материалы, т. 50, № 1, 2014. С. 82-89.

16. Self-compacting concrete: Test methods for SCC. Nordic Innovation Centre. 2005.

17. Inspection manual for self-consolidating concrete in precast members. The University of Texas at Austin. 2007.

18. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC. 2002.

19. Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // В сборнике: XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ Материалы конференции. Секции 1-3. 2017. С. 109-113.

20. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 1 (47). С. 65-72.

21. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Влияние составов материалов на формирование структуры строительных композитов // Вестник СибАДИ, 2015. № 4 (44). С. 69-79.

22. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Омск, 2011. 420 с.

# SELF-COMPACTING CONCRETE WITH THE USE OF PLANT WASTE

***R.S. Fediuk, A.V. Mochalov, D.N. Pezin, R.A. Timokhin***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The development of efficient self-compacting concrete is an urgent task for building materials science. A successful implementation of the task can be the use of ash of rice husk as an alternative material in the production of concrete. The aim of the research is to study the influence of the organo-mineral nanomodifier on the properties of self-compacting concrete.*

***Materials and methods.*** *The organomineral nanomodifier is developed using Portland cement, rice husk ash and quartz flour, which are milled together to a specific surface of 500-900 $m^2/kg$. Superplasticizer "Hidetal" is used to reduce the water-cement ratio. The properties of the mixture are tested for rheological characteristics. The bulk density of the samples is measured by the Archimedes method. An investigation of the concrete microstructure is carried out by electron microscopy. The compressive strength of the samples is obtained at the age of 7 and 28 days.*

***Results.*** *The most effective fineness of grinding of nanomodifier is 550 $m^2/kg$. The maximum increase in strength and the best rheological characteristics in comparison with pure thin-grained Portland cement are achieved by the introduction of a nanomodifier in an amount of 10.5%. However, the variation in the modulus of the samples' elasticity does not reveal the dependence on the amount of nanomodifier. The modulus of elasticity of self-compacting concrete primarily depends on the amount of coarse aggregate. Therefore, the pozzolanic reaction helps to increase the compressive strength of concrete by improving the interfacial bond between the cement paste and the aggregate.*

***Discussion and conclusions.*** *Plant waste has the potential to be used as a replacement for Portland cement in self-compacting concrete that retains the mechanical and operational characteristics of the concrete mix and ready-mixed concrete. The surface area of the ash is increased by mechanochemical activation. The inclusion of ash led to a reduction in the workability of concrete, but with the help of an additional superplasticizer, these properties for all samples are aligned. An increase in the nanomodifier content leads to a decrease in the early physical and mechanical properties, while the final strength of self-compacting concrete containing a nanomodifier is comparable to conventional samples.*

**KEYWORDS:** *cement stone, composite binder, nanodispersed additive, self-compacting concrete, rice husk ashes, pozzolanic materials, properties of the concrete mix, workability.*

## REFERENCES

1. Ranjbar N., Behnia A., Alsubari B., Birgani P.M., Jumaat M.Z. Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash. *Journal of Cleaner Production*, 2016, no. 112, pp. 723-730.

2. Fediuk R.S., Yevdokimova Y.G., Smoliakov A.K., Stoyushko N.Y., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, no. 221 (1), Pp. 012011

3. Lesovik V.S., Urkhanova L.A., Gridchin A.M., Lkhasaranov S.A. Composite binders on the basis of pearlite raw material of Transbaikalia. *Research Journal of Applied Sciences*, 2014, no. 9 (12), pp. 1016-1020.

4. Ranjbar N., Kuenzel C. Influenc of preheating of fl ash precursors to produce geopolymers. J Am Ceram Soc, 2017, No. 00, Pp. 1-10.

5. Chulkova I.L. *Povyshenie jeffektivnosti stroitel'nyh kompozitov s ispol'zovaniem tehnogennogo syr'ja regulirovaniem processov strukturoobrazovanija* [Increasing the effectiveness of building composites using technogenic raw materials by regulating the processes of structure formation]. Author's abstract. diss. ... Doctor of Technical Sciences. 05.23.05. Belgorod, 2011. 39 p.

6. Kazlitina O.V. *Fibrobeton dlja monolitnogo stroitel'stva* [Fiber reinforced concrete for monolithic construction] Author's abstract. diss. ... Cand. of Technical Sciences. 05.23.05. Belgorod, 2013. 22 p.

7. Chithra S. R.R. Senthil Kumar, K. Chinnaraju. The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 2016, Vol. 113, Pp. 794-804.

8. Sánchez M., Alonso M.C., González R.. Preliminary attempt of hardened mortar sealing by colloidal nanosilica migration. *Construction and Building Materials*. Vol. 66, 2014. Pp. 306-312.

9. Aydin A.C. Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete. Construction and Building Materials. Vol. 21, Is. 6, 2007. Pp. 1149-1154.

10. Sahmaran M, Yaman I.O. Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash. *Construction and Building Materials*. Vol. 21, Is. 1, 2007. Pp. 150-156.

11. Zemnukhova L.A., Panasenko A.E., Artemyanov A.P., Tsoy E.A. Dependence of porosity of amorphous silicon dioxide prepared from rice straw on plant variety. *BioResources*, 2015, no. 10(2), pp. 3713-3723.

12. Pelin G., Pelin C.-E., Ştefan, A., Dincă I., Andronescu E., Ficai A. Mechanical and tribological properties of nanofilled phenolic-matrix laminated composites. *Materiali in Tehnologije*, 2017, no. 51(4), pp. 569-575.

13. Shi C., Wu Z., Cao Z., Ling T.C., Zheng J. Performance of mortar prepared with recycled concrete aggregate enhanced by $CO_2$ and pozzolan slurry. *Cement and Concrete Composites*, 2018, no. 86, pp. 130-138.

14. Golubev V.A., Puzyrjov E.M., Muhoedov I. *Razrabotka tehnologii proizvodstva amorfnogo dioksida kremnija iz risovoj luzgi* [Development of technology for the production of amorphous silica from rice husks]. Fuel combustion: theory, experiment and applications: Proceedings of the 9th All-Russian Conference with international participation. Novosibirsk: Institute of Thermophysics SB RAS, 2015. http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D2_S2-9.pdf.

15. Zemnuhova L.A., Panasenko A.E., Coj E.A., Fedorishheva G.A., Shapkin N.P., Artem'janov A.P., Majorov V.Ju. Sostav i stroenie obrazcov amorfnogo kremnezema [Composition and structure of amorphous silica samples]. *Inorganic materials*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 82-89.

16. Self-compacting concrete: Test methods for SCC. Nordic Innovation Centre. 2005.

17. Inspection manual for self-consolidating concrete in precast members. The University of Texas at Austin. 2007.

18. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC. 2002.

19. Fediuk R.S., Smoliakov A.K., Timokhin R.A. *Stroitel'nye materialy dlja vojskovoj fortifikacii* [Building materials for military fortification]. XVIII All-Russian scientific practical conference of young scientists, graduate students and students in Neryungri, with international participation, dedicated to the 25th anniversary of the formation of the Technical Institute (branch) NEFU Conference proceedings. Sections 1-3. 2017, pp. 109-113.

20. Lesovik V.S., Fediuk R.S. Teoreticheskie predposylki sozdanija cementnyh kompozitov povyshennoj nepronicaemosti [Theoretical prerequisites for the creation of cement composites of increased impermeability. *Vestnik SibADI*, 2016, no. 1, pp. 65-72.

21. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Vlijanie sostavov materialov na formirovanie struktury stroitel'nyh kompozitov [The influence of the composition of materials on the formation of the structure of building composites]. *Vestnik SibADI*, 2015, no. 4, pp. 69-79.

22. Lesovik V.S., Chulkova I.L. *Upravlenie strukturoobrazovaniem stroitel'nyh kompozitov* [Control of the structure formation of building composites]. Siberian State Automobile and Highway Academy. Omsk, 2011. 420 c.

***Поступила 16.03.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Федюк Роман Сергеевич (Владивосток, Россия) – доцент кафедры гидротехники, теории зданий и сооружений ФГАОУ ВО «ДВФУ» (690950, г. Владивосток, ул. Суханова,8, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru).*

*Roman S. Fediuk – Associate Professor of the Department «Hydraulic Engineering, Theory of Buildings and Structures», Far Eastern Federal University (690950, 8, Sukhanova St., Vladivostok, Russian Federation, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru).*

*Мочалов Александр Викторович (Владивосток,*

*Россия) – начальник учебной части – заместитель начальника учебного военного центра ФГАОУ ВО «ДВФУ» (690950, г. Владивосток, ул. Суханова,8, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru).*

*Aleksandr V. Mochalov – Deputy Chief of the Military Training Center, Far Eastern Federal University (690950, 8, Sukhanova St., Vladivostok, Russian Federation, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru)*

*Пезин Дмитрий Николаевич (Владивосток, Россия) – соискатель ФГАОУ ВО «ДВФУ» (690950, г. Владивосток, ул. Суханова,8, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru)*

*Dmitriy N. Pezin – Graduate Student, Far Eastern Federal University (690950, 8, Sukhanova St., Vladivostok, Russian Federation, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru)*

*Тимохин Роман Андреевич (Владивосток, Россия) – студент ФГАОУ ВО «ДВФУ» (690950, г. Владивосток, ул. Суханова,8, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru)*

*Roman A. Timokhin – Student, Far Eastern Federal University (690950, 8, Sukhanova St., Vladivostok, Russian Federation, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru)*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Все соавторы внесли равный вклад.

# РАЗДЕЛ IV.
# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.612:519.652

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ КУБИЧЕСКИМИ СПЛАЙНАМИ С ПОМОЩЬЮ «МЕТОДИКИ СДВИГА»

***В.А. Федорук***
*ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Для обработки экспериментальных данных на практике широко используют интерполяционные и сглаживающие кубические сплайны. Данная задача является актуальной и привлекает достаточно большое количество исследователей. Для внесения своего вклада в решение этой непростой задачи автором ранее была предложена «методика сдвига». Автор ставит перед собой задачу сравнения своей методики с хорошо известным и широко распространённым методом сплайн-сглаживания.*

***Методы и материалы.*** *В данной статье сравниваются две методики обработки экспериментальных данных при интерполяции кубическими сплайнами. Первая методика является хорошо известной и основывается на применении сглаживающих кубических сплайнов (сглаживающих сплайнов) при обработке экспериментальных данных. Вторая построена на использовании «методики сдвига», основанной на сдвиге точек сшива фрагментов кубических парабол относительно узлов интерполирования, привязанных к экспериментальным данным. Для сравнения эффективности обеих методик в качестве тестовой кривой было выбрано распределение Гаусса (нормальное распределение).*

***Результаты и обсуждение.*** *Расчётные данные, полученные по двум вышеуказанным методикам, для их большей наглядности представлены в табличной и графической формах. Как показывают расчёты с помощью «методики сдвига» в узлах, в которых наблюдаются наибольшие отклонения расчётных данных от теоретических значений нормального распределения, удалось уменьшить внесённую в нормальное распределение погрешность в среднем как минимум в два раза.*

***Заключение.*** *В результате сравнительного анализа полученных по двум методикам расчётных данных автор приходит к выводу, что «методика сдвига» в проведённом тесте показала лучшие результаты, которые хорошо согласуются с нормальным распределением в пределах внесённой в тестовую кривую погрешности.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *экспериментальные данные, интерполяция, узлы интерполирования, сплайны, кубические сплайны, сглаживающие кубические сплайны, методика сдвига*

## ВВЕДЕНИЕ

Кубические сплайны [1, 2], в силу их простоты, широко применяются на практике [3, 4] для обработки экспериментальных данных. Они лишены недостатков, присущих методам построения интерполяционных полиномов [5], возникающих при большом числе экспериментальных данных.

В случае если погрешности измерений малы и их можно не учитывать, то для обработки экспериментальных данных применяют интерполяционные кубические сплайны [6]. В этом случае построение интерполяционного сплайна осуществляется с помощью фрагментов кубических парабол со сшивкой в точках, соответствующих экспериментальным данным. Данный подход успешно реализован в таких математических пакетах как MathCAD, MATLAB, Maple [7].

На практике, полученные экспериментальные данные содержат погрешности, которыми пренебречь нельзя. В этом случае применение интерполяционных сплайнов не позволяет построить нужную кривую из-за «жёсткой» привязки узлов интерполирования к экспериментальным данным.

Поэтому, чтобы получить более гладкие аппроксимирующие кривые, проходящие вблизи значений экспериментальных точек, необходимо использовать сглаживающие сплайны [8]. Построение таких сплайнов является задачей нелинейного программирования и реализуется с помощью численных методов [9, 10, 11].

В статье [12] предлагается другой, более простой (без использования нелинейного программирования), но не менее эффективный подход для того, чтобы обойти ограничение по привязке узлов интерполирования к экспериментальным (табличным) данным при использовании интерполяционных кубических сплайнов. Этот метод реализует интерполяцию табличных данных кубическими сплайнами [6] с применением «методики сдвига» [12].

Целью данной статьи является сравнение эффективности двух методик обработки экспериментальных данных при интерполяции кубическими сплайнами, одна из которых достаточно хорошо известна и основывается на применении сглаживающих сплайнов [8] при обработке табличных данных, а другая построена на использовании «методики сдвига» [12], основанной на сдвиге точек сшива фрагментов кубических парабол относительно узлов интерполирования, привязанных к табличным данным. Для сравнения эффективности обеих методик в качестве тестовой кривой было выбрано нормальное распределение.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Первая методика является достаточно хорошо известной и представляет из себя широко распространённый метод сплайн-сглаживания [8], реализуемый на практике численными методами [9, 10, 11].

Согласно этому методу аналитическое выражение для кубического сплайна имеет следующий вид

$$\varphi(x) = K_{i-1}\frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + K_i\frac{(x - x_{i-1})^3}{6h_i} + \frac{x_i - x}{h_i}\left(y_{i-1} - \frac{K_{i-1}h_i^2}{6}\right) + \\ + \frac{x - x_{i-1}}{h_i}\left(y_i - \frac{K_i h_i^2}{6}\right), \quad i = 2,...,N,$$

где $h_i = x_i - x_{i-1}, \quad i = 2,...,N.$

Коэффициенты $K_i \quad (i = 1,...,N)$ сглаживающего сплайна находятся путём решения системы линейных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} &c_1K_1 + b_1K_2 + a_1K_3 = d_1,\\ &b_1K_1 + c_2K_2 + b_2K_3 + a_2K_4 = d_2,\\ &a_{i-2}K_{i-2} + b_{i-1}K_{i-1} + c_iK_i + b_iK_{i+1} + a_iK_{i+2} = d_i, \quad i = 3,...,N-2,\\ &a_{N-3}K_{N-3} + b_{N-2}K_{N-2} + c_{N-1}K_{N-1} + b_{N-1}K_N = d_{N-1},\\ &a_{N-2}K_{N-2} + b_{N-1}K_{N-1} + c_NK_N = d_N. \end{aligned} \tag{1}$$

Коэффициенты этой системы определяются по формулам

$$c_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{3} + \frac{1}{h_i^2}\rho_{i-1} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{i+1}}\right)^2\rho_i + \frac{1}{h_{i+1}^2}\rho_{i+1}, \quad i = 2,...,N-1, \tag{2}$$

$$b_i = \frac{h_{i+1}}{6} - \frac{1}{h_{i+1}}\left[\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{i+1}}\right)\rho_i + \left(\frac{1}{h_{i+1}} + \frac{1}{h_{i+2}}\right)\rho_{i+1}\right], \quad i = 2,...,N-2, \tag{3}$$

$$a_i = \frac{\rho_{i+1}}{h_{i+1}h_{i+2}}, \quad i = 2,...,N-3, \tag{4}$$

а правые части системы

$$d_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i}, \quad i = 2,..., N-1. \tag{5}$$

Если сглаживающий сплайн является естественным, т. е. $K_1 = K_N = 0,$ то краевые условия имеют вид

$$c_1 = c_N = 1,$$
$$b_1 = a_1 = a_{N-2} = b_{N-1} = d_1 = d_N = 0.$$

В формулах (2) – (4) $\rho_i > 0$ – заданные весовые коэффициенты. Если $\rho_i = 0,$ то $\varphi(x_i) = y_i,$ т. е. в точке $x_i$ значение сглаживающего сплайна совпадает со значением функции в этой точке. Таким образом, чем меньше выбрано значение коэффициента $\rho_i$, тем ближе функция $\varphi(x_i)$ в точке $x_i$ соответствует табличному значению $y_i$.

Пятидиагональная матрица (1) с коэффициентами, определяемыми по формулам (2) – (5), представляет собой систему линейных уравнений. Решение системы линейных уравнений с пятидиагональной матрицей коэффициентов можно найти с помощью метода прогонки [13].

После вычисления коэффициентов $K_i$ сглаживающего сплайна искомые сглаженные значения точек экспериментальных данных в узлах $x_i$ определяются по формулам

$$z_i = y_i - \rho_i D_i, \quad i = 1,..., N, \tag{6}$$

$$D_1 = \frac{K_2 - K_1}{h_2}, \quad D_N = -\frac{K_N - K_{N-1}}{h_N},$$
$$D_i = \frac{K_{i+1} - K_i}{h_{i+1}} - \frac{K_i - K_{i-1}}{h_i}, \quad i = 2,..., N-1.$$

Вторая методика обработки экспериментальных данных разработана автором и основана на использовании «методики сдвига» [12].

Для сравнения эффективности двух вышеуказанных методик обработки экспериментальных данных, основные положения одной из которых рассмотрены выше, а вторая подробно описана автором в статье [12], в качестве теоретической (тестовой) кривой было выбрано распределение Гаусса или нормальное распределение. В дополнение приводится пример обработки экспериментальных данных двумя методиками для спектра внутреннего трения эпоксидного полимера (ЭП) на основе эпоксиновolачной смолы УП-643 [14], сокращённо ЭП УП-643.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные данные $y_i^{\mathrm{e}}$, приведённые в таблице 1, были получены из тестовой кривой $y_i^{\mathrm{t}}$ с внесением в неё случайным образом (с помощью датчика случайных чисел) погрешностей, не превышающих 10%.

Исходные и расчётные данные для нормального распределения, полученные при использовании «методики сдвига» [12] при коэффициенте сдвига $ko_shift = 14,$ приведены в таблице 1. Методика получения этих данных подробно описана в статье [12].

Для проведения расчётов по методике, основанной на применении сглаживающих сплайнов, сначала была изучена теория широко распространённого метода сплайн-сглаживания [8], практическая реализация которого сводится к использованию формул (2) – (5) для нахождения искомых сглаженных значений точек экспериментальных данных в узлах $x_i$ по формуле (6). Далее была написана программа на языке программирования Microsoft Fortran PowerStation 4.0 [15], с помощью которой и были выполнены расчёты с весовыми коэффициентами $\rho$ в диапазоне от 0,001 до 0,1. Наиболее оптимальным значением весового коэффициента, дающего наиболее лучший результат, оказалось $\rho = 0{,}01.$

В таблице 1 (для сравнения) приведены данные расчётов по двум методикам для нормального распределения в диапазоне $x = 3 \div 7.$

Таблица1

ДАННЫЕ РАСЧЁТОВ ПО ДВУМ МЕТОДИКАМ ДЛЯ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
Table 1
DATA OF CALCULATIONS BY TWO METHODS

| $x_i$ | $y_i^{\mathrm{t}}$ | $y_i^{\mathrm{e}}$ | $z_i$ | $y_i^{14}$ |
|---|---|---|---|---|
| | Без погрешности | Погрешность 0 – 10% | $\rho = 0{,}01$ | $ko_shift = 14$ |
| 3,00 | 0,0540 | 0,0591 | 0,0531 | 0,0547 |
| 3,25 | 0,0863 | 0,0777 | 0,0798 | 0,0834 |
| 3,50 | 0,1295 | 0,1180 | 0,1146 | 0,1268 |
| 3,75 | 0,1826 | 0,1707 | 0,1901 | 0,1827 |
| 4,00 | 0,2420 | 0,2644 | 0,2417 | 0,2376 |
| 4,25 | 0,3011 | 0,2763 | 0,2751 | 0,2873 |
| 4,50 | 0,3521 | 0,3192 | 0,3407 | 0,3370 |
| 4,75 | 0,3867 | 0,4098 | 0,4078 | 0,3838 |
| 5,00 | 0,3989 | 0,4313 | 0,4019 | 0,4037 |
| 5,25 | 0,3867 | 0,3625 | 0,3830 | 0,3886 |
| 5,50 | 0,3521 | 0,3604 | 0,3691 | 0,3550 |
| 5,75 | 0,3011 | 0,3297 | 0,3043 | 0,3050 |
| 6,00 | 0,2420 | 0,2195 | 0,2340 | 0,2405 |
| 6,25 | 0,1826 | 0,1702 | 0,1671 | 0,1753 |
| 6,50 | 0,1295 | 0,1166 | 0,1253 | 0,1231 |
| 6,75 | 0,0863 | 0,0946 | 0,0871 | 0,0864 |
| 7,00 | 0,0540 | 0,0529 | 0,0536 | 0,0566 |

На рисунках 1-3 приведены для сравнения на примере нормального распределения: теоретическая и расчётная ($ko_shift = 14$) кривые (рис. 1); теоретическая и расчётная ($\rho = 0{,}01$) кривые (рис. 2); теоретическая и расчётные (по двум методикам) кривые (рис. 3).

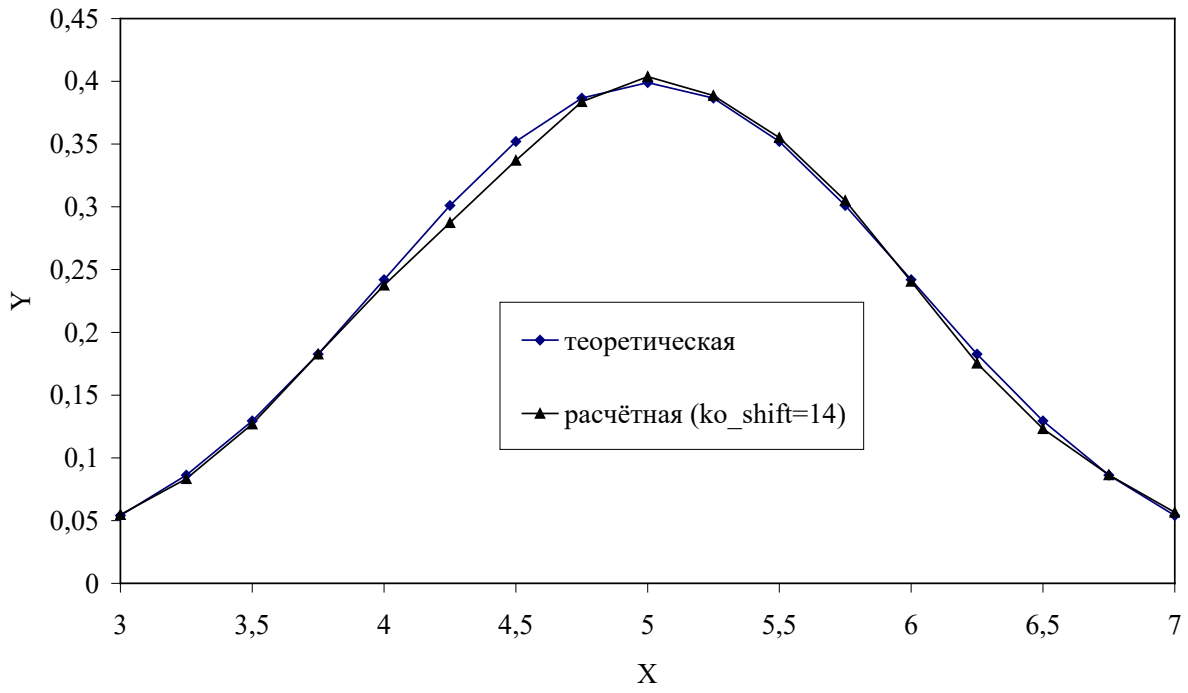



*Рисунок 1 – Теоретическая и расчётная (при ko_shift=14) кривые нормального распределения*
*Figure 1 – Theoretical and calculated (for ko_shift=14) curves*

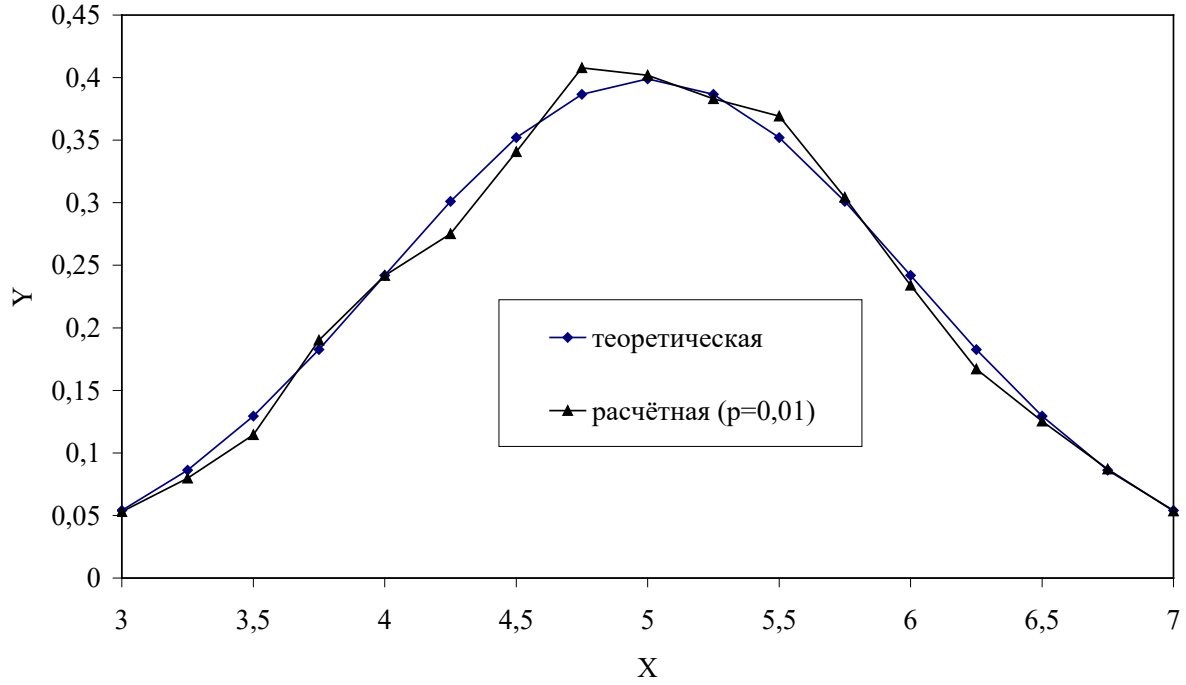



*Рисунок 2 – Теоретическая и расчётная (при ρ=0,01) кривые нормального распределения*
*Figure 2 – Theoretical and calculated (for ρ=0,01) curves*

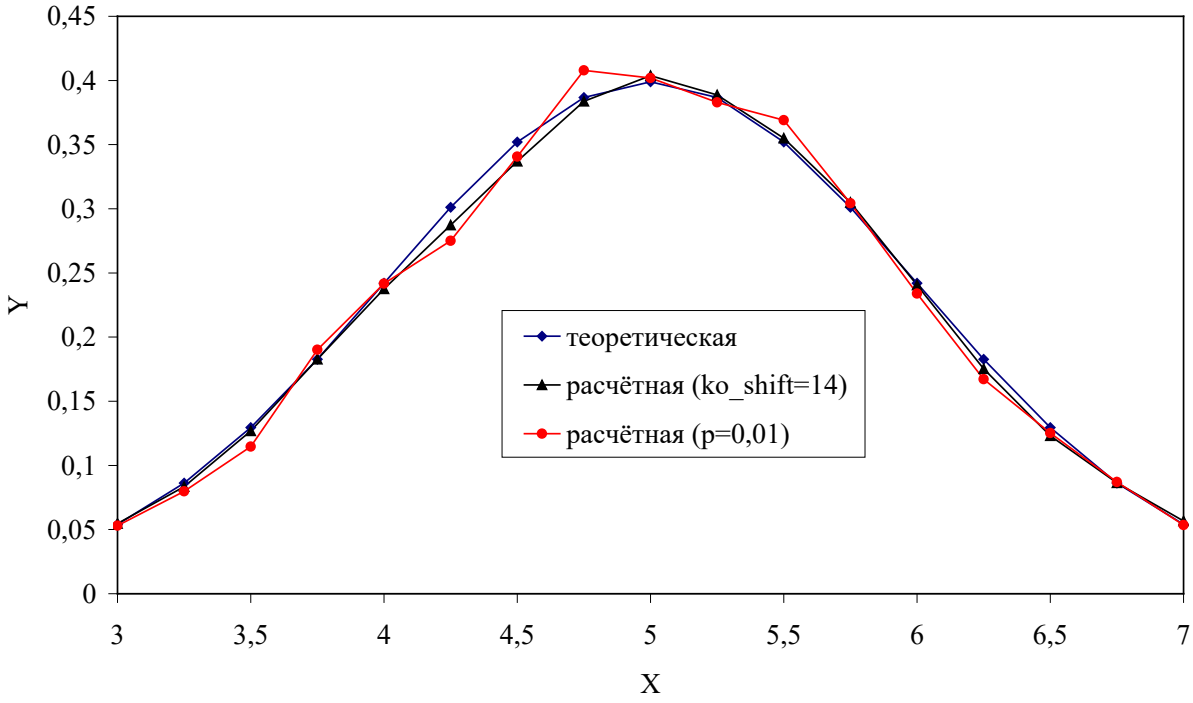



*Рисунок 3 – Теоретическая и расчётные (по двум методикам) кривые*
*Figure 3 – Theoretical and calculated (by two methods) curves*

В таблице 2 для сравнения эффективности вышеуказанных методик приведены относительные погрешности расчётных данных по отношению к теоретическим значениям для нормального распределения, посчитанные на основании данных таблицы 1.

Во втором столбце данной таблицы указаны погрешности, внесённые для каждого узла в тестовую кривую с помощью датчика случайных чисел в диапазоне от 0 до 10%.

Таблица 2
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТНЫХ ДАННЫХ (В ПРОЦЕНТАХ) ПО ДВУМ МЕТОДИКАМ ДЛЯ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
Table 2
RELATIVE ERRORS OF CALCULATED DATA (IN PERCENTAGES) BY TWO METHODS

| $x_i$ | $\frac{\lvert y_i^{\mathrm{t}} - y_i^{\mathrm{e}} \rvert}{y_i^{\mathrm{t}}} \cdot 100\%$ | $\frac{\lvert y_i^{\mathrm{t}} - z_i \rvert}{y_i^{\mathrm{t}}} \cdot 100\%$ | $\frac{\lvert y_i^{\mathrm{t}} - y_i^{\#} \rvert}{y_i^{\mathrm{t}}} \cdot 100\%$ |
|---|---|---|---|
| 3,50 | 8,8 | 11,5 | 2,1 |
| 4,25 | 8,2 | 8,6 | 4,6 |
| 4,50 | 9,3 | 3,2 | 4,3 |
| 4,75 | 6,0 | 5,5 | 0,75 |
| 5,50 | 2,4 | 4,8 | 0,82 |
| 6,25 | 6,8 | 8,5 | 4,0 |

В таблице 2 указаны только те узловые точки (узлы) $x_i$, в которых наблюдаются наибольшие отклонения расчётных данных от теоретических значений нормального распределения (см. рис. 1-3).

Как показывают расчёты (см. табл. 2) с помощью «методики сдвига» в этих узлах удалось уменьшить внесённую в нормальное распределение погрешность в среднем как минимум в два раза.

В отличии от «методики сдвига» методика, основанная на применении сглаживающих сплайнов, в некоторых узлах наибольших отклонений экспериментальных данных от теоретических значений дала ещё большие отклонения (в табл. 2 соответствующие данные выделены жирным шрифтом, узлы – X=3,50, X=4,25, X=5,50 и X=6,25).

В дополнение к проведённым расчётам, в качестве второго примера, в таблице 3 приведены данные обработки экспериментальных данных по двум методикам спектра внутреннего трения $tg\delta = f(T)$ для ЭП УП-643 [14] в области γ-релаксации [16].

Таблица 3
ДАННЫЕ РАСЧЁТОВ ПО ДВУМ МЕТОДИКАМ ДЛЯ СПЕКТРА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЭП УП-643
Table 3
DATA OF CALCULATIONS BY TWO METHODS FOR THE SPECTRUM OF INTERNAL FRICTION EP UP-643

| $T_i$ | $tg\delta_i$ | | |
|---|---|---|---|
| | Эксперимент | Расчётные данные | |
| | | $\rho = 10$ | $ko_shift = 6$ |
| 200 | 0,0334 | 0,0361 | 0,0393 |
| 204 | 0,0381 | 0,0394 | 0,0397 |
| 208 | 0,0428 | 0,0379 | 0,0397 |
| 211 | 0,0341 | 0,0384 | 0,0397 |
| 215 | 0,0432 | 0,0427 | 0,0423 |
| 219 | 0,0468 | 0,0459 | 0,0454 |
| 223 | 0,0456 | 0,0446 | 0,0458 |
| 226 | 0,0443 | 0,0473 | 0,0469 |
| 230 | 0,0525 | 0,0498 | 0,0498 |
| 233 | 0,0484 | 0,0494 | 0,0502 |
| 237 | 0,0471 | 0,0464 | 0,0470 |
| 240 | 0,0440 | 0,0447 | 0,0447 |
| 244 | 0,0444 | 0,0448 | 0,0446 |
| 247 | 0,0462 | 0,0464 | 0,0456 |
| 250 | 0,0464 | 0,0441 | 0,0454 |
| 253 | 0,0416 | 0,0448 | 0,0452 |
| 255 | 0,0471 | 0,0460 | 0,0460 |
| 260 | 0,0471 | 0,0450 | 0,0467 |
| 263 | 0,0422 | 0,0454 | 0,0451 |
| 267 | 0,0452 | 0,0416 | 0,0409 |
| 271 | 0,0346 | 0,0379 | 0,0383 |
| 273 | 0,0398 | 0,0400 | 0,0385 |
| 276 | 0,0417 | 0,0384 | 0,0389 |
| 279 | 0,0351 | 0,0381 | 0,0375 |

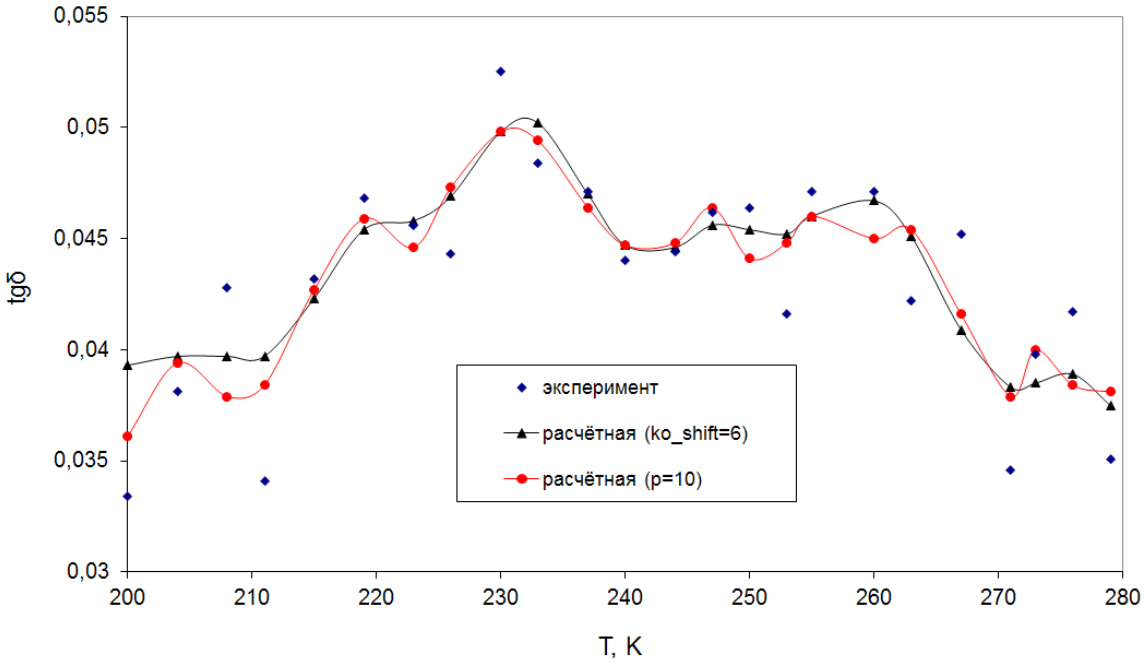



*Рисунок 4 – Экспериментальные данные и расчётные (по двум методикам) кривые для ЭП УП-643*
*Figure 4 – Experimental data and calculated (by two methods) curves for EP UP-643*

Примечание: для получения расчётных данных с помощью «методики сдвига», соответствующих температурам таблицы 3, необходимых для удобства сравнения, на последнем этапе работы программы MSPLANE [12] был задействован коэффициент получения дополнительного количества точек $ko_add = 100$; остальные расчётные данные, полученные для температурного диапазона таблицы 3, в последнем столбце не приводятся.

На рисунке 4, наряду с экспериментальными данными спектра внутреннего трения ЭП УП-643, приведены для сравнения расчётные (по двум методикам) кривые, соответствующие параметрам $ko_shift = 6$ и $\rho = 10$, соответственно.

Как видно из рисунка 4 обе методики визуально дают хороший результат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительного анализа полученных по двум методикам расчётных данных в случае нормального распределения установлено, что «методика сдвига» в проведённом тесте показала лучшие результаты, согласующиеся с нормальным распределением в пределах внесённой в тестовую кривую погрешности во всех узлах вышеуказанного диапазона $x = 3 \div 7$.

При использовании методики, основанной на применении сглаживающих сплайнов, вероятнее всего необходимо для узлов наибольших отклонений экспериментальных данных от теоретических значений подбирать разные весовые коэффициенты, чтобы эти отклонения не превышали погрешности, внесённые в тестовую кривую (см. данные табл. 2, узлы – X=3,50, X=4,25, X=5,50 и X=6,25).

Во втором примере расчёта (при обработке экспериментальных данных) для спектра внутреннего трения ЭП УП-643 [14] в области γ-релаксации [16] обе методики визуально показали хороший результат и для однозначного выявления лучшей из них в этом случае требуются дополнительные исследования, связанные с моделированием кривой, характерной для такого вида экспериментальных данных как у ЭП УП-643.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и её приложения. М.: Мир, 1972. 319 с.
2. Карл Де Бор. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь, 1985. 304 с.
3. Воскобойников Ю.Е., Преображенский Н.Г., Седельников А.И. Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. Новосибирск: Наука, 1984. 240 с.
4. Завьялов Ю.С., Леус В.А., Скороспелов В.А. Сплайны в инженерной геометрии. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.

5. Малоземов В.Н., Певный А.Б. Полиномиальные сплайны. Ленинград: ЛГУ, 1986. 120 с.
6. Заварыкин В.М., Житомирский В.Г., Лапчик М.П. Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1990. 176 с.
7. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9. М.: НТ Пресс, 2006. 496 с.
8. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. М.: МИКАП, 1994. 382 с.
9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.
10. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.
11. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1975. 632 с.
12. Федорук В.А. Обработка экспериментальных данных на основе «методики сдвига» при интерполяции кубическими сплайнами // Вестник СибАДИ. 2016. № 2 (48). С. 132-136.
13. Волков Е.А. Численные методы. М.: Наука, 1987. 248 с.
14. Федорук В.А. Вязкоупругие свойства некоторых модифицированных полимерных материалов и методы их анализа на основе расчёта параметров релаксационных процессов: дис. … канд. техн. наук. Омск, 1996. 161 с.
15. Бартеньев О.В. Современный Фортран. М.: Диалог-МИФИ, 1998. 397 с.
16. Бартенев Г.М., Бартенева А.Г. Релаксационные свойства полимеров. М.: Химия, 1992. 384 с.

# IMPROVING THE EFFICIENCY OF EXPERIMENTAL DATA PROCESSING AT CUBIC SPLINES' INTERPOLATION BY "THE SHIFT TECHNIQUE"

***V. A. Fedoruk***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *To process the experimental data, interpolation and smoothing cubic splines are widely used in practice. This task is relevant and attracts a sufficiently large number of researchers. To make contribution to the solution of this difficult problem, the author previously proposed "the shift technique". The author sets the task of comparing such methodology with the well-known and widely used method of spline-smoothing.*

***Methods and materials.*** *In this article two methods of processing experimental data at interpolation by cubic splines are compared. The first technique is based on the use of smoothing cubic splines (smoothing splines) in the processing of experimental data. The second one is based on the use of "the shift technique" based on the shift points of stitching together fragments of cubic parabolas, which are relative to the interpolation nodes linked to the experimental data. To compare the effectiveness of both methods, the Gaussian distribution (normal distribution) is chosen as the test curve.*

***Results and discussion.*** *The calculated data obtained by the two above-mentioned methods are presented in tabular and graphical forms for greater visibility. It follows that the obtained calculations with "the shift technique " at the nodes in which the greatest deviations of the calculated data from the theoretical values of the normal distribution, are observed in the article. Therefore, the possibility to reduce the error introduced into the normal distribution by an average of at least twice is discussed.*

***Conclusion.*** *As a result of a comparative analysis of the calculated data obtained using the two methods, the author concludes that "the shift technique" in the test-performed program show better results that are in good agreement with the normal distribution within the error made to the test curve.*

**KEYWORDS:** *experimental data, interpolation, interpolation nodes, splines, cubic splines, smoothing cubic splines, shift technique.*

## REFERENCES

1. Alberg Dzh., Nil'son E., Uolsh Dzh. Teoriya splainov i ee pr ilozheniya. Moscow, Mir, 1972. 319 p.
2. Karl De Bor. Prakticheskoe rukovodstvo po splainam. Moscow, Radio i svyaz', 1985. 304 p.
3. Voskoboinikov Yu.E., Preobrazhenskii N.G., Sedel'nikov A.I. Matematicheskaya obrabotka eksperimenta v molekulyarnoi gazodinamike. Novosibirsk, Nauka, 1984.240 p.
4. Zav'yalov Yu.S., Leus V.A., Skorospelov V.A. Splainy v inzhenernoi geometrii. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 224 p.
5. Malozemov V.N., Pevnyi A.B. Polinomial'nye splainy. Leningrad, LGU, 1986. 120 p.
6. Zavarykin V.M., Zhitomirskij V.G., Lapchik M.P. Chislennye metody [Numerical methods]: Ucheb. posobie dlja studentov phiz.-mat. spets. ped. In-tov. Moscow, Prosveshchenie, 1990. 176 p.
7. Alekseev E.R., Chesnokova O.V. Reshenie zadach vychislitel'noj matematiki v paketah Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9 [Decision of problems of computational mathematics in packages Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9]. Moscow, NT Press, 2006. 496 p.
8. Nosach V.V. Reshenie zadach approksimatsii s pomoshh'ju personal'nyh komp'juterov [Solution approximation problems by means of personal computers]. Moscow, MIKAP, 1994. 382 p.
9. Samarskij A.A., Gulin A.V. Chislennye metody [Numerical methods]. Moscow, Nauka, 1989. 432 p.

10. Kalitkin N.N. Chislennye metody [Numerical methods]. Moscow, Nauka, 1978. 512 p.

11. Bahvalov N.S. Chislennye metody [Numerical methods]. Moscow, Nauka, 1975. 632 p.

12. Fedoruk V.A. Obrabotka ehksperimental'nykh dannykh na osnove «metodiki sdviga» pri interpolyatsii kubicheskimi splajnami [Processing of experimental data based on "technique of shift" interpolated cubic splanes]. Vestnik SibADI, 2016, no 48, pp. 132-136.

13. Volkov E.A. Chislennye metody [Numerical methods]. Moscow, Nauka, 1987. 248 p.

14. Fedoruk V.A. Vyazkouprugiye svoystva nekotorykh modifitsirovannykh polimernykh materialov i metody ikh analiza na osnove raschota parametrov relaksatsionnykh protsessov. Doct. Diss. [Viscoelastic properties of some modified polymeric materials and methods for their analysis on the basis of calculation of the parameters of relaxation processes. Doct. Diss.]. Omsk, 1996. 161 p.

15. Barten'yev O.V. Sovremennyj Fortran [Modern Fortran]. Moscow, Dialog-MIFI, 1998. 397 p.

16. Bartenev G.M., Barteneva A.G. Relaksatsionnyye svoystva polimerov [Relaxation properties of polymers]. Moscow, Khimiya, 1992. 384 p.

***Поступила 22.02.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Федорук Владимир Аркадьевич (г. Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Физика» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, д. 5, e-mail: fedoruk_va@mail.ru).*

*Fedoruk Vladimir Arkadyevich (Omsk, Russia) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics in the Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5 Mira Ave., e-mail: fedoruk_va@mail.ru).*

# РАЗДЕЛ V.
# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 331.4

# ОХРАНА ТРУДА В ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

***Ю.В. Баранов***
*ФГБОУ ВО «ОмГТУ», Россия, г. Омск*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *В статье представлены роль и значение охраны труда в период развития инновационной экономики, а также перспектива изменений социально-трудовых отношений в пользу коллективно-договорной формы.*

**Материалы и методы.** *Регулирование социально-трудовых отношений в сфере охраны труда на государственном уровне определяется разработкой и утверждением законодательно-нормативных актов, нормативов и других обязательных к исполнению документов. На уровне субъектов Федерации полномочия направлены на реализацию указанных документов на своих территориях путем организации информационной и разъяснительной работы. На муниципальном уровне полномочия по охране труда не установлены. На уровне предприятий доминирует административная форма регулирования отношений.*

**Результаты.** *Наличие органов системы социального партнерства на всех уровнях управления экономической деятельностью, установленного порядка заключения соглашений и коллективных договоров позволяет надеяться на скорейшее совершенствование переговорного процесса между работодателем и наемными работниками по трудовым вопросам. Только взаимный интерес в улучшении условий и охраны труда всех участников трудового процесса может обеспечить решение поставленных задач.*

**Заключение.** *Принимая во внимание, что работающий человек является источником инноваций в совершенствовании производства, предлагается создавать безопасные и здоровые условия труда для реализации творческих идей, а данную работу считать неотъемлемой частью инновационной деятельности.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *охрана труда, условия труда, социально-трудовые отношения, коллективно-договорное регулирование, инновация.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современное мировое развитие характеризуется переходом ведущих стран к формированию инновационного общества, построению инновационной экономики, основанной на определённых знаниях. Принято считать, что интеллектуальные ресурсы определяют перспективы экономического роста и служат показателем уровня независимости и благосостояния страны.

В Российской Федерации утверждена и действует государственная программа «Экономическое развитие и инновационная экономика», которая включает в себя девять подпрограмм: «Формирование благоприятной инвестиционной среды», «Развитие малого и среднего предпринимательства», «Стимулирование инноваций», «Кадры для инновационной экономики» и другие. Реализация Госпрограммы предусмотрена в период с 2013 по 2020 гг. включительно, обеспечивая переход к преимущественно инновационному пути развития российской экономики в целом. Планируется создание благоприятной среды для инвесторов, развитие малого и среднего бизнеса, создание благоприятных условий, которые бы способствовали развитию рынка недвижимости. Должны быть созданы действенные стимулы для увеличения инвестиционной активности и роста производительности труда [1,2,3,4,5,6].

Если общепринятое понятие инновационной экономики определяется как «экономика знаний » или «интеллектуальная экономика», то фактор работающего человека приобретает заметное значение, являясь источником инноваций в технологическом совершенствовании производства. Предполагается, что в этом случае интеллект новаторов превалирует над материальным производством в получении прибыли, а для перспективной реализации творческих идей должны создаваться особые условия как в организационно-техническом, так и в социально-психологическом плане.

Таким образом, работа по обеспечению

безопасных и здоровых условий труда для участников трудового процесса становится неотъемлемой частью инновационной деятельности.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Новый подход к охране труда в рамках инновационной экономики надо рассматривать как нечто новое и востребованное основным процессом развития.

В техническом плане – это разработка и внедрение в производство высокотехнологического оборудования и техпроцессов взамен физически и морально исчерпавших себя технологий и техники, минимизируя или исключая по возможности воздействие на человека вредных или опасных производственных факторов.

В организационном плане – это совершенствование законодательной и нормативной базы в сфере охраны труда, структуры и методов управления.

К числу актуальных проблем, не позволяющих решить главную целевую задачу – сохранение жизни и здоровья людей, можно отнести:

-- недостаточный профессиональный уровень (профессиональное несоответствие) и, как следствие, отсутствие должной ответственности;

-- пассивное отношение к охране труда различного рода руководителей;

-- отсутствие механизма мотивации (стимулирования), сочетающего экономическую успешность и безопасность персонала;

-- дефицит финансовых и материальных ресурсов.

Коротко это можно выразить так: причины медленного внедрения более совершенных форм решения указанных и других проблем заключаются в профессиональной и психологической неготовности одних, профессиональном несоответствии других и неадекватной идеологии к безопасности труда.

Следует признать, что сегодня деятельность по охране труда часто направлена не на создание реально безопасных условий труда для работников, а на установление компенсаций за работу во вредных и (или) опасных условиях труда, т.е. в целях частичной компенсации рисков и вреда здоровью работников им платят более высокую заработную плату.

В статье «Необходимость инновационных решений в области охраны труда» Е.Г. Мамытов предлагает пересмотреть всю систему льгот и компенсаций для работников, занятых на рабочих местах с неблагоприятными условиями труда [2, 7,8,9,10,11,12,13].

Рекомендуется руководствоваться следующим:

-- компенсации предоставляются работникам, занятым на рабочих местах с неблагоприятными условиями труда, формирование которых вызвано объективными причинами (природно-климатического и организационно-технического порядка), а коренное улучшение этих условий в данный момент не имеет необходимых научно-технических решений;

-- компенсации устанавливаются на определенный срок, необходимый для разработки и внедрения научных решений, обеспечивающих формирование благоприятных условий труда, уровень которых будет в полной мере соответствовать действующим стандартам, нормам и требованиям. На этой основе предоставление компенсаций прекращается полностью или частично, если не достигнуто полного улучшения условий труда;

-- предоставление компенсаций должно производиться на основе комплексной количественной оценки степени неблагоприятности условий труда;

-- размер компенсаций и последовательность их установления должны соответствовать количественной оценке состояния условий труда и профессионального риска;

-- затраты на компенсации несут работодатели за счет своего дохода, а не за счет включения их в себестоимость продукции или оказания услуг;

-- установление компенсаций отражается в трудовых коллективных договорах и тарифных соглашениях.

Следует ожидать развития таких направлений, как финансирование мероприятий по охране труда в бюджетных организациях; страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний работников малых предприятий; экономическая заинтересованность работодателей в обеспечении нормальных условий труда для работников; полномочия и функции Государственной инспекции труда и Государственной экспертизы условий труда и т д.

Проблема управленцев на всех уровнях экономической деятельности – видеть в работе по реализации законодательно-нормативных актов по охране труда конкретного человека и действовать для него. То, что здоровый работник в комфортных условиях труда сможет работать с большей отдачей по всем показателям, обсуждать не надо. А вот создать такие условия совместными усилиями должны научиться работодатель-управленец и наёмный работник.

Для преодоления негативных тенденций необходимо аппелировать к социальным партнерам, целью эффективной политики которых в этой области должно стать совершенствование общих условий труда и систем подготовки и обучения в сфере охраны труда, усиление ответственности работодателя, взаимопроникновение экономических и социальных проблем в своей деятельности [3,14,15,16].

В новых условиях необходимо развивать коллективно-договорное регулирование социально-трудовых отношений, в том числе в сфере охраны труда. За социальным партнёрством будущее – демократизация и децентрализация управления, повышение ответственности и творческой инициативы работников. Кроме коллективного договора как регулятора социально-трудовых отношений желательно развивать практику заключения соглашений по охране труда.

В социальном плане следует исполнять принятые социальные гарантии и по возможности дополнять их в зависимости от специфики производства. Изменения должны произойти в понимании вопроса финансирования охраны труда не как увеличения затрат на производство продукции, работ, услуг, а как обязательной инвестиции в трудовые ресурсы, сохраняя трудоспособность работающему человеку и обеспечивая тем самым стабильность производства по эффективности и качеству. Можно при необходимости планировать денежные средства на мероприятия по улучшению условий и охраны труда из чистой прибыли, распределяя ее по согласованию с коллективом. К финансовым резервам следует отнести расширение практики использования скидки (максимально 40%) к страховым тарифам обязательного социального страхования от несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве, а также 20% страхового тарифа на предупредительные меры по охране труда.

В психологическом плане предстоит преодолеть разделяющий «барьер» между работодателем и наёмным работником. При этом должно произойти сближение участников трудового процесса по всему спектру жизнеутверждающих интересов.

Нужно стремиться быть партнёрами в решении поставленных производственных задач и достижении единственной для обоих сторон цели – получение прибыли. Работодатель обязан демонстрировать заботу и уважение по отношению к работнику, брать на себя решение его социальных проблем [17,18,19].

Изменения в социально-экономических отношениях должны отражаться в конкретных действиях работодателя:

- выплата достойной заработной платы;
- забота о здоровье самого работника и членов его семьи;
- благодарность моральная и материальная за выполненную работу;
- решение социальных проблем для работников;
- вынужденное сокращение только после обучения (при желании) по специальности, востребованной на рынке труда.

Работодатель, обеспокоенный заботой о здоровье наёмного работника, будет уделять особое внимание, например исполнению нормативных сроков, ограничивающих время работы на рабочих местах под воздействием вредных факторов. При истечении установленного ограничения (количество лет) по профессии, согласно спискам №1 и №2, заранее предложит другое место работы. При разработке мер по улучшению охраны и условий труда на конкретном рабочем месте будет учитывать мнения и предложения работника.

Работник со своей стороны ответит на всестороннее внимание к нему высокоэффективным трудом, что означает стремление раскрыть свой трудовой потенциал. Именно такой подход к персоналу предприятия любой формы собственности будет соответствовать требованию инновационной экономики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Переход к инновационному типу экономики обеспечит активная научно-техническая деятельность с применением новых знаний при решении технологических, экономических и социальных проблем. Конечно, улучшение условий труда (сокращение доли ручного труда, снижение трудоемкости и т.д.) – одно из значимых результатов.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- охрана труда является не только частью производственного процесса, а сохраняет и развивает человеческий капитал как ключевой ресурс экономики;
- не решая социальные вопросы коллектива, в том числе по охране труда, достигнуть эффективного результата в производстве проблематично, а в ряде случаев невозможно;
- совершенствование охраны труда востребовано процессом развития инновационной экономики.

Важнейшим фактором эффективности работы в условиях инновации, в том числе и в

сфере охраны труда, является уровень образования и рост трудового потенциала работника, т.е. происходит определенная мотивация персонала к труду профессиональному, творческому, интеллектуальному.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В инновационную экономику, по мнению автора, мы должны прийти с новым пониманием ведущей роли работающего человека в производственном процессе как носителя и исполнителя инновационных решений. Тогда управленцы экономики страны будут отличаться осознанной ответственностью за сохранение здоровья и жизни работника, являющегося государственным экономическим богатством.

В статье представлены направления изменений социально-экономических отношений в сфере охраны труда в соответствии с новыми условиями: в организационно-техническом и социально-психологическом планах, определены ожидаемые результаты изменений в действиях работодателей и работников.

Адекватное понимание существа общественных процессов в XXI в. определяет эффективную охрану труда необходимой составляющей политики любой цивилизованной страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа РФ «Экономическое развитие и инновационная экономика». Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 29 марта 2013 года №467-р.

2. Мамытов Е.Г. Необходимость инновационных решений в области охраны труда. Охрана труда [Электронный ресурс]. http://www.ohranatruda.org. Июнь 12th, 2010.

3. Охрана труда: вчера, сегодня, завтра [Электронный ресурс]. http://www.profzentr.ru/?on=fpot&text=5.

4. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 8 декабря 2011 года №2227р.

5. Инновационное развитие – основа модернизации экономики России: Национальный доклад. М.: ИМЭМО РАН, ГУ–ВШЭ, 2008. 168 с.

6. Послание Федеральному Собранию Российской Федерации Президента России В.В. Путина 12 декабря 2012 [Электронный ресурс]. URL: http://президент.рф/transcripts/ Путин видит будущее России в инновационной экономике [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.rosbalt.biz/ 2008/11/20/543284.html (дата обращения 05.05.2013).

7. Баранов Ю.В. Инновационные аспекты в управлении охраной труда // Междунар. науч-практ. конф. 2015 г. Омск. Издательство ОмГТУ. С.61-66.

8. Новости по теме «Программа развития инновационной экономики» (Электронный ресурс). Кабмин РФ.

9. Верховец О.А. Инновации и их роль в экономическом росте России. Омск. Издательство ОмГУ, 2011. 134 с.

10. Баранов Ю.В. Региональный опыт формирования и регулирования социально-трудовых отношений в сфере охраны труда (монография). Омск, издательство ОмГТУ, 2013. 240 с.

11. Федорец А.Г. Охрана труда –2015 и другие интересные вопросы профессиональной охраны специальных рисков от безопасности труда: научно-практическое издание. М.: ИБТ, 2015. 136 с.

12. Кульбовская Н.К. Экономика охраны труда. Монография. М.: Экономика, 2011. 247 с.

13. Баранов Ю.В. Характеристика социально-трудовой сферы в Омской области // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 11-16

14. Турекулова Д.М., Мухамбетова Л.К., Абильбаева С.А.Охрана и безопасность труда в системе социального партнерства. // Вестник университета туран. 2015. № 1. (65). С. 114-120.

15. Лушников А.М. Российское трудовое право в условиях инновационной модели экономики: вызовы времени // Вестник трудового права и права социального обеспечения. 2015. № 9 (9). С. 7-19.

16. Лубков В.А. Развитие экономического анализа человеческого капитала на корпоративном уровне // Вестник воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (50). С. 279-284.

17. Измеров Н.Ф. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. («стратегия 2020») и сохранение здоровья работающего населения России // Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 3. С. 1-8.

18. Низова Л.М., Санникова Т.В. Социально-трудовые отношения и благополучие человека труда // Эко. 2016. № 8 (506). С. 153-158.

19. Баранов Ю.В., Полянская С.Г. Современный взгляд на систему социального партнерства Российской Федерации // Российское предпринимательство. 2017. т. 18. № 18. С. 2625-2634.

# LABOR PROTECTION IN THE PERIOD OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ECONOMY

***Yu.V. Baranov***

## ABSTRACT

***Introduction.*** *The article presents the role and importance of labor protection while the development of the innovation economy, as well as the prospect of changes in social and labor relations in favor of collective-contractual form.*

***Materials and methods.*** *Regulation of social and labor relations in the field of labor protection at the state level is determined by the development and approval of legislative and regulatory acts, regulative and other binding documents. At the level of the federation, powers are directed to the implementation of these documents on the territories through the organization of information and explanatory work. At the*

*municipal level, labor protection authority is not established. At the enterprise level, the administrative form of relations' regulation dominates.*

***Results.*** *The existence of the social partnership system bodies at all levels of economic activity management, the established procedure for concluding agreements and collective agreements allows to wait for the speedy improvement of the negotiation process between the employer and wage earners on labor issues. Only mutual interest in improving the conditions and labor protection of all participants in the labor process could ensure the solution of these tasks.*

***Conclusion.*** *Taking into account that the working person is a source of innovation in production improvement, it could be proposed to create safe and healthy working conditions for the realization of creative ideas, and this research is considered the integral part of innovative activity.*

**KEYWORDS:** *labor protection, working conditions, social and labor relations, collective-contractual regulation, innovation.*

## REFERENCES

1. Russian Federation Governmental Program "Economical development and innovation economy". Approved by Resolution of the Government of the RF, March 29, 2013, No. 467-r.

2. Okhrana truda [Occupation safety] [electronic resource]. http://www. ohranatruda.org/ Mamytov E.G. Neobkhodimost innovatsionnykh resheniy v oblasti okhrany truda [The need of innovational solutions in the sphere of occupation safety]. June 12, 2010.

3. Okhrana truda: vchera, segodnya, zavtra [Occupation safety: yesterday, today, tomorrow] [electronic resource]. http://www.profzentr.ru/?on=fpot&text=5.

4. Strategy for innovational development of the Russian Federation for the period through to 2020. Approved by Resolution of the Government of the RF, December 8, 2011, No. 2227-r.

5. Innovatsionnoe razvitie — osnova modernizatsii ekonomiki Rossii [Innovational development is the basis of modernization of Russian economy]. National Report. Moscow, Institute of World Economy and International Relations of the Russian Academy of Sciences – SU-HSE, 2008.

6. President of the Russian Federation V.V.Putin's Address to the Federal Assembly of the Russian Federation, December 12, 2012 [electronic resource]. http://www.kremlin.ru/events/president/news/17118 Putin vidit buduschee Rossii v innovatsionnoy ekonomike [Putin sees the future of Russia in the innovational economy] [electronic resource]. http://www.rosbalt.biz/2008/11/20/543284.html.

7. Baranov Yu.V. Innovatsionnye aspekty v upravlenii okhranoy truda [Innovational aspects in occupation safety management]. International scientific-practical conference. 2015. Omsk. OmSTU Publishing. pp. 61-66.

8. News on the topic "Program for innovational economy development" [electronic resource]. Cabinet of Ministers of the RF. http://government.ru/programs/225/events/

9. Verkhovets O.A. Innovatsii i ikh rol v ekonomicheskom roste Rossii [Innovations and their role in Russia's economic growth]. Omsk. OmSU Publishing, 2011. 134 p.

10. Baranov Yu.V. Regionalniy opyt formirovaniya i regulirovaniya sotsialno-trudovykh otnosheniy v sfere okhrany truda [Regional experience in the formation and regulation of social and labuor relations in the field of occupation safety] (monograph). Omsk, OmSTU Publishing, 2013. 240 p.

11. Fedorets A.G. Okhrana truda — 2015 I drugie interesnye voprosy professionalnoy pkhrany spetsialnykh riskov ot bezopasnosti truda [Occupation Safety 2015 and other interesting issues of professional protection of special risks from occupational safety]: a scientific and practical publication. Moscow, IBT, 2005. 136 p.

12. Kulbovskaya N.K. Ekonomika okhrany truda [Occupation safety economy] (monograph). Moscow, Ekonomika Publishing, 2011. 247 p.

13. Baranov Yu.V. Kharakteristika sotsialno-trudovoy sfery v Omskoy oblasti [Characteristics of the social and labour sphere in the Omsk region]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, 2017, pp. 1-16.

14. Turekulova D.M. Okhrana I bezopasnost truda v sisteme sotsialnogo partnerstva [Labour protection and safety in the system of social partnership]. Turekulova D.M., Mukhambetova L.K., Abilbaeva S.A. Vestnik universiteta Turan, 2015, no. 1 (65), pp. 114-120.

15. Lushnikov A.M. Rossiyskoe trudovoe pravo v usloviyakh innovatsionnoy modeli ekonomiki: vyzovy vremeni [Russian Labour Law in the Conditions of Innovative Economic Model: Challenges of Time]. Herald of Labor Law and Social Security Law, 2015, no. 9 (9), pp. 7-19.

16. Lubkov V.A. Razvitie ekonomicheskogo analiza chelovecheskogo kapitala na korporativnom urovne [Development of economic analysis of human capital at the corporate level]. Bulletin of Voronezh State Agrarian University, 2016, no.3 (50), pp. 279-284.

17. Izmerov N.F. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 g. ("strategiya 2020") i sokhraneniye zdorovya rabotayuschego naseleniya Rossii [The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period until 2020 ("strategy 2020") and the preservation of the health of the working population of Russia]. Medicina truda i promyshlennaya ekologiya, 2012, no. 3, pp. 1-8.

18. Nizova L.M., Sannikova T.V. Sotsialno-trudovye otnosheniya I blagopoluchie cheloveka truda [Social and labour relations and the well-being of a working man]. Eco, 2016, no. 8 (506), pp. 153-158.

19. Baranov Yu.V., Polyanskaya S.G.Sovremenniy vzglyad na sistemu sotsialnogo partnerstva Rossiyskoy Federatsii [Modern view on the system of social partnership of the Russian Federation]. Rossiyskoe predprinimatelstvo, 2017, Vol. 18, no. 18, pp. 2625-2634.

***Поступила 12.10.2017, принята к публикации 20.04.2018.***

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Баранов Юрий Владимирович (г. Омск, Россия) – кандидат экономических наук, профессор кафедры «Экономика и организация труда» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 32 а, e-mail: svetlana02@mail.ru).*

*Baranov Yuri Vladimirovich (Omsk, Russia) – PhD (Economy), Professor of the Department "Economics and Organization of Labor", Omsk State Technical University (644050, 32, Mira Ave., Omsk, Russian Federation, email: yvbaranov@yandex.ru).*

УДК 338.001.36

# ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

***О.В. Косенчук, А.В Зинич***
*ФГБОУ ВО Омский ГАУ, г.Омск, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

***Введение.*** *Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с оценкой развития сельских территорий. В работе кратко описаны методологические подходы и методики отечественных и зарубежных авторов, выявлены проблемы проведения исследований развития села.*
***Методы и материалы.*** *Основное внимание в работе уделяется обоснованию количественных и качественных показателей в оригинальной авторской методике для оценки уровня развития сельских территорий. Показатели подобраны на основе комплексности и многофункциональности сельского развития. Разработана система критериев и показана процедура подсчета баллов при оценке.*
***Результаты.*** *Авторами определены пять базовых функций сельских территорий, разработана и представлена авторская методика мониторинга их развития, включающая тридцать один показатель и позволяющая оценить изменения на селе в динамике за несколько лет.*
***Обсуждение.*** *Рассмотрен подход к реализации предложенной методики с учетом основных компонентов: производственного, социально-демографического, экономического, экологического, административно-управленческого. Установлено, что для получения достоверных результатов исследований необходимы доступные и «прозрачные» исходные данные, отсутствие которых часто отмечали исследователи, цели и задачи для проведения исследований по развитию территории должны быть конкретными или поддающимися количественной оценке.*
***Заключение.*** *Сделан вывод о целесообразности применения авторской методики оценки многофункционального развития сельских территорий, которая позволит объективно выявлять динамику изменений, в полной мере давать своевременную оценку уровня их развития и разработать меры, направленные на преодоление негативных и поддержку позитивных тенденций, а также способствующие реализации потенциала территорий.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *сельские территории, показатели, отбор, критерии, оценка, методология исследования, мониторинг, комплексность, многофункциональное развитие, эффективность.*

## ВВЕДЕНИЕ

Политика развития сельских территорий должна отражать меняющийся характер сельской экономической структуры, деятельности и перспективы. Необходимо владеть комплексной информацией о характере и направлении этих изменений для лучшего понимания последствий реформ сельскохозяйственной политики, ее сопутствующих мер для смягчения любых неблагоприятных последствий, о характере взаимодействия с рынком, влияния технологических, социальных и других факторов на изменения экономических показателей сельского хозяйства.

На основании изучения трудов зарубежных ученых [1,2,3] выявлены ключевые социально-экономические аспекты, анализируемые в мониторинге развития сельских районов: 1. Процессы миграции на селе. 2. Уровень образования или квалификации сотрудников в сфере сельского хозяйства. 3. Рентабельность сельского хозяйства. 4. Структура сельского хозяйства по отраслям. 5. Размеры сельскохозяйственных организаций 6. Направления диверсификации сельскохозяйственного производства. 7. Качество аграрной продукции. 8. Географическое размещение агропромышленного производства в сельской местности. Международный набор индикаторов социально-экономического развития региональных систем, разработанный ООН, включает 134 базовых показателя. Причем для расчета каждого из них изданы соответствующие методические рекомендации.

В последние годы научные труды многих авторов посвящены оценке развития сельских территорий. Изучение проводят как в различных странах мира, так и в разрезе регионов России [4,18], в частности определяют уровень социально-экономического развития и социальной дифференциации в сельской местности [12,20]. Оценивают влияние основных факторов производства, личных подсобных хозяйств и инвестиционной привлекательности на развитие аграрного сектора и в целом сельских территорий [6,11,13].

Особый интерес представляют отечественные работы, в которых рассматриваются формы развития сельских территорий в нашей стране, принципы оценки их эффективности, а также проблемы применения сложившихся методов определения эффективности [5,8]. Опыт оценки эффективности развития села отражен в научных трудах, в которых рассматривались результаты с точки зрения управления сельской инфраструктурой и государственной поддержки сельского хозяйства в регионах [9,15].

При этом следует отметить, что в исследованиях рассматриваются различные методологические подходы к оценке развития и проведению рейтингования территорий [17], а также к вопросам оценки управления сельским муниципальным образованием [7]. Отдельные ученые значительное внимание уделяют формированию основных индикаторов для методики оценки развития сельских территорий, в частности с позиций эволюционно-генетического подхода [14], в сфере управления аграрными государственно-кооперативными формированиями [16]. Понимая , что узконаправленные исследования не показывают полную картину изменений на селе, ряд ученых при оценке развития сельских территорий применяли комплексный подход, основанный на многокритериальности и многофункциональности развития села [10,19,21].

Основные трудности оценки развития территорий возникают из-за отсутствия знаний о динамике изменений процессов, связанных с различными мерами и сложностью определения их воздействия на территориальной основе. Воздействие мер индивидуальной сельскохозяйственной политики в отношении заявленных целей развития сельских территорий нелегко оценить количественно, поскольку цели развития сельских районов часто носят весьма общий характер и определить чистое влияние конкретных применяемых мер достаточно сложно. Кроме того, сельская политика часто оценивается с точки зрения достигнутых конкретных сельскохозяйственных целей, а не с точки зрения целей развития сельских районов. При оценке сельского развития не следует полагаться исключительно на простые показатели, исследования должны также объяснять, как применяемая политика влияет на структуру и производство местной экономики, а также на благосостояние и комфортность проживания местных жителей в сельских районах.

Цель исследования заключается в изучении различных подходов к оценке развития сельских территорий, а также подборе показателей и определении критериев для авторской методики интегральной оценки уровня многофункционального развития сельских районов.

Для определения результатов развития сельских районов через сложный набор пересекающихся показателей бизнеса, инфраструктуры, социальной и экологической систем, несомненно, сложная задача. Понимание разнообразных изменений в сельской экономике можно лучше всего добиться сочетанием количественного и качественного анализа. Поэтому определение перечня показателей и критериев их оценки для комплексного определения уровня многофункционального сельского развития является актуальным.

Проанализируем различные методы и подходы в исследованиях по сельскому развитию, а также определим показатели, характеризующие многофункциональное развитие села и установим границы критериев для их оценки с целью дальнейшего использования в мониторинге развития сельских территорий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования использовались общенаучные методы анализа и синтеза, системного подхода и обобщения. Объектом исследования выступает система критериев и показателей для оценки уровня многофункционального развития сельских территорий.

Региональная оценка предоставляет стандартизированную информацию об уровне развития территорий каждой типологии. Простая процедура подсчета баллов является общей для большинства методов многих стран мира, в итоге присуждают оценки: оценка 1 указывает, что территория развивается на лидирующем уровне; 0,5 баллов указывает на то, что территория имеет определенный потенциал и может в дальнейшем достичь лучших результатов, то есть нет никаких очевидных препятствий по реализации своих преимуществ. В

тех случаях, когда существуют четкие (методологические, концептуальные или имеющиеся данные) основания полагать, что территория с кризисной типологией не имеет потенциала или когда недостаточно информации для вынесения суждения, регистрируется оценка 0. В результате проведения анализа развития сельских территорий в масштабах ЕС выделяют 25 типологий сельской деятельности.

Andrea Bonfiglio [1] при оценке развития итальянского региона Марке использовал подход «вход-выход» на основе следующих критериев: 1. Объем инвестиции в основной капитал сельского хозяйства. 2. Динамика численности постоянного населения и уровня безработицы. 3. Объем инвестиций в агротуристическую деятельность. 4. Субсидии в АПК. 5. Коэффициент обновления фондов. 6. Занятость в несельскохозяйственных отраслях на селе. 7. Объем бюджетного финансирования в развитие сельской инфраструктуры. 8. Объем финансирования научно-исследовательских работ. 9. Количество проведенных консультаций для сельхозтоваропроизводителей. Автор указал, что определение уровня развития сельских территорий проводится на гибридной основе с использованием межрегиональной модели ввода-вывода и гравитационной модели.

Авторы полагают, что исследования по развитию сельских территорий должны быть основаны на системном подходе, при котором учитывается комплексность и многофункциональность, а не только развитие отдельных сфер на селе. Мониторинговая оценка развития сельских территорий, как правило, связана со сложностью использования большого количества разнородных статистических показателей, их обработкой и анализом, выявлением взаимосвязей между ними. Кроме того, применение разнообразных методик для оценки сельского развития дает множественные результаты, что делает сравнения громоздкими и неэффективными. Основной задачей при этом является подбор показателей и определение системы критериев их оценки, находящихся в комплексном взаимодействии. Стоит подчеркнуть, что некоторые процессы и явления, происходящие на селе, невозможно оценить количественно, поэтому качественные показатели нужно изучать посредством наблюдения, опросов населения, методом экспертных оценок и затем трансформировать их в количественные индикаторы. В этой связи авторы разработали новую методику, способную учесть комплексный характер и особенности развития сельских территорий, позволяющую разработать рекомендации по совершенствованию региональной политики, направленной на многофункциональное развитие села.

В основе новой комплексной методики авторами заложена интегральная оценка уровня многофункционального развития, где итогом по конкретной территориальной единице будет расчетное значение индекса.

В предлагаемой методике используются статистические показатели, характеризующие важнейшие функции сельских территорий: производственной, социально-демографической, экономической, экологической и административно-управленческой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Обобщая различные зарубежные и отечественные исследования по развитию сельских районов, авторами были сделаны ключевые выводы относительно подходов, инструментов и методов:

– для оценки уровня развития сельских территорий может использоваться широкий спектр различных методологий;

– независимо от применяемой методологии, результаты оценки должны быть «прозрачными» и понятными для дальнейшей корректировки плана работы;

– эффективная оценка требует междисциплинарного подхода, включая взаимосвязь между экономическим моделированием и биофизическими процессами в живых системах;

– цели и задачи для проведения исследований по развитию территории должны быть конкретными или поддающимися количественной оценке;

– одна из основных задач заключается в проведении оценки своевременно, однако необходимо учитывать, что исследуемые объекты являются частью природных процессов и для получения эффекта от проводимых ранее мероприятий нужно много времени;

– для получения достоверных результатов исследований необходимы доступные и «прозрачные» исходные данные, отсутствие которых часто отмечали исследователи;

– проводимые исследования, как правило, сосредоточены в большей степени на оценке аграрной и экологической сферы и очень немногие исследования на социально-экономическом развитии села.

Данные выводы послужили основанием для разработки авторской методики комплексной оценки многофункционального уровня сельского развития. Для этого было отобрано

33 показателя, характеризующих пять базовых функций сельских территорий:

– производственная функция (4 показателя);
– социально-демографическая функция (14 показателей);
– экономическая функция (7 показателей);
– экологическая функция (2 показателя);
– административно-управленческая функция (4 показателя).

Оценка показателей проводится по каждой группе в динамике за два периода по установленным критериям. Часть показателей оценивают, основываясь на динамике процессов за исследуемый период. В авторской методике к такой группе относится пять показателей, им выставляются баллы: при увеличении – 2; без изменений – 1; при уменьшении – 0. Остальные показатели сравниваются с нормативными значениями и выставляются баллы от -1 до +2.

В основу рассматриваемой методики заложена интегральная оценка уровня многофункционального развития, где итогом по конкретной территориальной единице будет расчетное значение индекса. Предлагаемая методика способна учесть комплексный характер и особенности развития сельских территорий, позволяет разработать рекомендации по совершенствованию региональной политики, направленной на многофункциональное развитие села.

## ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению авторов, наиболее значимой для регионального развития является сфера производства. Традиционно сложилось так, что экономика сельских территорий имеет преимущественно аграрную направленность. Сельскохозяйственная отрасль обеспечивает рабочими местами треть населения и является значимым, а зачастую и основным источником доходов. При этом базовой функцией, в большей степени характеризующей уровень развития той или иной сельской территории, должна стать именно производственная функция, которая определяется четырьмя показателями аграрного развития (таблица 1).

Таблица 1
ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ
Table 1
EVALUATION INDICATORS OF MULTIFUNCTIONAL DEVELOPMENT OF RURAL TERRITORIES

| Функции сельских территорий | Показатель |
|---|---|
| Производственная | валовая продукция растениеводства на 1 га с.-х. угодий;<br>валовая продукция животноводства на 1 га с.-х. угодий;<br>доля среднесписочной численности работников в сельском хозяйстве;<br>энерговооруженность 1 среднегодового работника |
| Социально-демографическая | отношение начисленной заработной платы работников в сельском хозяйстве к средней по области;<br>протяженность автодорог местного значения с твердым покрытием;<br>одиночное протяжение уличной водопроводной сети;<br>одиночное протяжение уличной газовой сети;<br>численность врачей на 10 000 чел. населения;<br>количество спортивных сооружений и учреждений культуры на 1 000 чел.;<br>количество общеобразовательных организаций на 1 000 чел.;<br>плотность сельского населения;<br>миграционный прирост/ убыль населения;<br>численность экономически активного населения, занятого на селе;<br>доля работников с высшим образованием в общей численности в сельском хозяйстве;<br>занятость населения;<br>демографическая нагрузка на 1 000 чел. в трудоспособном возрасте;<br>средний возраст работников в сельском хозяйстве |
| Экономическая | доля валовой продукции КФХ в общем объеме валовой продукции сельского хозяйства;<br>доля прибыльных организаций в общем числе с.-х. организаций;<br>объем государственной поддержки на 1 га с.-х. угодий;<br>окупаемость затрат;<br>себестоимость 1 ц сельскохозяйственной продукции |
| Экологическая | доля уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ;<br>содержание гумуса в пашне |
| Административно-управленческая | численность муниципальных служащих;<br>доходы местного бюджета на душу населения;<br>расходы местного бюджета на национальную экономику;<br>расходы местного бюджета на сельское хозяйство на 1 га с.-х. угодий. |

Большое значение для развития территории имеет социальное направление, характеризующееся, с одной стороны, показателями качества жизни, с другой стороны, демографическими показателями. По социально-демографической компоненте для сравнительной оценки многофункционального развития сельских территорий предлагается использовать 14 статистических показателей.

Оценка экономического развития сельских территорий самая многоплановая, и показателей здесь может быть множество. Их количество и качественный состав зависят от поставленных целей исследования. Предполагается, что экономический блок должен быть представлен показателями, характеризующими не столько итоговые показатели экономической эффективности хозяйствующих субъектов, сколько оценить общий фон развития сельскохозяйственных организаций, учитывая затратную составляющую и уровень государственной поддержки. К экономическому блоку отнесено 5 показателей.

С развитием любого производства, в том числе и аграрного, значительно возрастает экологическая нагрузка на окружающую среду. Современные интенсивные технологии предусматривают использование средств химизации, что в значительной степени улучшает производственно-экономические показатели хозяйствующих субъектов, но вместе с тем оказывают разрушающее воздействие на среду. Несмотря на то что многие хозяйственники переходят на новый этап – экологизацию землепользования, ситуация в целом достаточно серьезная. Показателей, характеризующих экологическое состояние достаточно много, и они все являются лимитирующими факторами развития сельских территорий, однако, принимая во внимание доступность информационной базы в данной сфере, авторами было предложено только два показателя.

Территориальное управление характеризуется административно-управленческой функцией, способствующей повышению общей устойчивости территориального развития и обеспечения его многофункциональности. К данному направлению было подобрано 4 показателя.

Информационная база для получения данных о фактических значениях показателей формируется на основе данных официальной статистической отчетности, представляемых в региональном разрезе, а также с учетом данных регионального Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Министерства труда и социального развития.

Последующая обработка и анализ данных проводятся по каждой группе показателей. Причем итоговая оценка формируется не по фактически полученным количественным значениям, а с учетом динамики процессов и степени соответствия каждого показателя с нормативным значением.

В том случае когда показатель невозможно сравнить с нормативным значением, его оценивают в баллах, основываясь на динамике процессов за исследуемый период. В авторской методике к такой группе относится пять показателей (таблица 2).

Все остальные 24 показателя в предлагаемой авторской методике оцениваются также в динамике за два года, но в сравнении с нормативными значениями. В таблице 3 приведены критерии оценки анализируемых показателей.

Таблица 2
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОЦЕНИВАЕМЫХ В ДИНАМИКЕ
Table 2
EVALUATION CRITERIA INDICATORS MEASURED IN DYNAMICS

| База сравнения | Критерий оценки | Количество баллов |
|---|---|---|
| Динамика показателей за два прошедших года:<br>1) протяженность автодорог общего пользования местного значения с твердым покрытием;<br>2) одиночное протяжение уличной водопроводной сети;<br>3) одиночное протяжение уличной газовой сети;<br>4) количество спортивных сооружений и учреждений культурно-досугового типа на 1 000 чел.;<br>5) количество общеобразовательных организаций на 1 000 чел. | увеличение | 2 |
| | без изменений | 1 |
| | уменьшение | 0 |

Таблица 3
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, СРАВНИВАЕМЫЕ С НОРМАТИВОМ
Table 3
EVALUATION CRITERIA INDICATORS COMPARED WITH STANDARD

| Нормативное значение показателя | Критерий оценки | | Количество баллов |
|---|---|---|---|
| | в динамике | по отношению к нормативному значению | |
| Среднее значение по региону | увеличение | ≥ норматива | 2 |
| | | < норматива | 0 |
| | без изменений | ≥ норматива | 1 |
| | | < норматива | 0 |
| | уменьшение | ≥ норматива | 1 |
| | | < норматива | -1 |

Проведенная оценка показателей в баллах позволяет рассчитать отдельно (простым суммированием) агрегированные индикаторы по каждой функции сельских территорий: экономической, производственной, экологической, социально-демографической и административно-управленческой.

Завершается критериальная оценка по каждому изучаемому району сельских территорий расчетом комплексного индекса уровня его многофункционального развития путем суммирования произведений агрегированных индикаторов (по каждой исследуемой функции) и их весомых значений, установленных экспертным путем.

Полученные значения комплексных индексов отдельных сельских районов позволяют проводить их сравнительный анализ по уровню многофункционального территориального развития, а также сравнивать сложившиеся тенденции в динамике данных показателей в течение исследуемого интервала времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотренные выше различные методические подходы ученых исследователей к проведению мониторинга развития сельских территорий показывают, что данный вопрос продолжает оставаться дискуссионным. Представленная авторская методология мониторинга сельских территорий на предмет их многофункционального развития позволяет объективно выявлять динамику изменений, в полной мере давать своевременную оценку уровня их развития. В этой связи апробация методики оценки многофункционального развития сельских территорий позволит своевременно разработать меры и скорректировать программы развития сельских поселений, направленные на преодоление негативных и поддержку позитивных тенденций, а также способствующие созданию высокого социально-экономического потенциала территорий и обеспечивающие достойный уровень жизни сельского населения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Andrea Bonfiglio Chiodo, E. A Regional Impact Analysis of European Policies in Rural Areas. URL:http://ecsocman.hse.ru/data/135/673/1219/87EAAE_Bonfiglio_Chiodo.pdf (дата обращения 26.12.2017).

2. By Jacobs, I.A., Olanrewaju, T.O., Chukwudi, P.O. (2017). Comparative assessment of rural development programs of selected ngos in plateau state, northcentral, Nigeria. Journal of Rural Social Sciences, vol. 32, no. 1, URL:https://www.questia.com/library/journal/1P4-1950036989/comparative-assessment-of-rural-development-programs (дата обращения 22.03.2018).

3. Li, Y., Long, H., Liu, Y. (2015). Spatio-temporal pattern of China's rural development: A rurality index perspective. Journal of Rural Studies, vol. 38, april 01, 2015, pp. 12-26. URL:https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84922321671&origin=inward&txGid=6fe6483e84c431a381a26d969e16452c (дата обращения 22.03.2018).

4. Адукова А.Н. Оценка управления развитием сельских территорий в странах мира // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2016. № 1 (26). С. 92–94.

5. Антонова Н.И. Формы развития сельских территорий и принципы оценки их эффективности // В сборнике: Перспективы развития сельского хозяйства Российской Федерации: инновационно-технологические параметры, формы территориальной организации материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 210–215.

6. Воробьева В.В., Воробьев С.П., Черных А.А. Оценка влияния личных подсобных хозяйств на социально-экономическое развитие сельских территорий Алтайского края // Конкурентоспособность в глобальном мире : экономика, наука, технологии. 2016. № 4. С. 20–24.

7. Гриценко Г.М. Методологические подходы к совершенствованию стратегического управления сельским муниципальным образованием // Фундаментальные исследования. 2015. № 12–6. С. 1194–1198. https://elibrary.ru/download/elibrary_25459004_47287270.pdf (дата обращения 20.03.2018).

8. Гриценко Г.М. Проблемы применения сложившихся методов определения эффективности реализации муниципальных программ // В сборнике: Продовольственная

безопасность, импортозамещение и социально-экономические проблемы развития АПК материалы – международной научно-практической конференции. 2016. С. 41–45.

9. Ковалева Е.Б., Пыткина С.А., Ионова И.Г. Оценка эффективности управления развитием инфраструктуры сельских территорий региона в современных условиях // В сборнике: Современные проблемы развития экономики и управления в регионе материалы X Международной научно-практической конференции. 2016. С. 382–385.

10. Косенчук О.В., Зинич А.В. Методика оценки многофункционального развития сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2017. № 11. С. 84–89.

11. Кудинова М.Г., Глотова Н.И., Герауф Ю.В. Оценка влияния инвестиционной привлекательности сельских территорий Алтайского края на развитие и повышение сельскохозяйственного производства // В сборнике: Стратегические направления развития АПК стран СНГ материалы XVI Международной научно-практической конференции: в трех томах. 2017. С. 100–104.

12. Лазарева В.В., Зинченко М.В., Бабий Н.В., Власова Н.Ю. Оценка устойчивости развития приграничных сельских территорий Амурской области // Успехи современной науки. 2017. Т. 3. № 2. С. 39–42.

13. Панова А.А., Яроцкая Е.В. Оценка влияния основных факторов производства на устойчивое развитие сельских территорий // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 5–1 (81). С. 285–288.

14. Рассадин В.В., Павлов А.Ю., Батова В.Н., Винничек Л.Б. Формирование основных индикаторов устойчивого развития сельских территорий с позиций эволюционно-генетического подхода // Нива Поволжья. 2015. № 3 (36). С. 139–145. https://elibrary.ru/download/elibrary_24999281_60518929.pdf (дата обращения 16.02.2018).

15. Сабетова Т.В. Оценка эффективности государственной поддержки сельского хозяйства и устойчивого развития сельских территорий // Совершенствование учета, анализа и контроля как механизмов информационного обеспечения устойчивого развития экономики. 2016. № 2. С. 280–286.

16. Стадник А.Т., Чернова С.Г. Разработка индикаторов управления государственно-кооперативными формированиями в АПК региона // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (42). С. 241–245. https://elibrary.ru/download/elibrary_28944373_90492379.pdf (дата обращения 15.03.18).

17. Трухачев А.В. Методические вопросы оценки и рейтингования территорий для развития сельского туризма // Сервис plus. 2016. Т. 10. № 1. С. 30–37.

18. Трухачев В.И., Громов Е.И. Оценка уровня развития сельских территорий в разрезе регионов России // Экономика сельского хозяйства России. 2016. № 4. С. 57–65.

19. Хамавова А.А. Многокритериальная оценка как базис системы управления развитием сельских территорий // Символ науки. 2016. № 2–2 (14). С. 90–93.

20. Шумакова О.В., Кутузова М.В. Мониторинг уровня социально-экономического развития муниципальных районов сельской местности (на примере Омской области) // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2016. Т. 62. № 5. С. 3–7.

21. Юрзина Т.А. Модели комплексного развития сельской территории: их характеристика и оценка // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 9 (103). С. 11.

# INDICATORS AND CRITERIA FOR ASSESSMENT OF MULTIFUNCTIONAL DEVELOPMENT OF RURAL TERRITORIES

***O.V. Kosenchuk, A.V. Zinich***

**ABSTRACT**

***Introduction.*** *The article is devoted to the rural development assessment. The research briefly describes the methodological approaches and methods of domestic and foreign authors, devoted to the problems of rural development.*

***Methods and materials.*** *Emphasis is paid to the substantiation of quantitative and qualitative indicators in the original author's methodology for assessing the level of the rural areas' development. Indicators are selected basing on the complexity and versatility of rural development. The system of criteria is demonstrated and calculation procedure of assessment points is shown.*

***Results.*** *The authors identify five basic functions of rural areas, developed and presented by the author's methodology for monitoring the dynamic and including thirty-one indicators, which allow to assess the changes in rural area over the years.*

***Discussion.*** *The approach to the implementation of the proposed methodology is considered taking into account the main components: industrial, socio-demographic, economic, environmental, administrative and managerial. In addition, it is established that to obtain reliable results, researchers need to have accessible and transparent source data. It is also concluded that the goals and objectives of the research on the rural areas' development should be specified or measured.*

***Conclusion.*** *As a result, the author method application of multifunctional rural areas' development allows us to objectively detect the dynamics of changes, to give evaluation of their development level and to overcome the negative and support the positive trends.*

**KEYWORDS:** *rural areas, indicators, selection, criteria, evaluation, research methodology, monitoring, complexity, multifunctional development, efficiency.*

## REFERENCES

1. Andrea Bonfiglio Chiodo, E. A Regional Impact Analysis of European Policies in Rural Areas. URL:http://ecsocman.hse.ru/data/135/673/1219/87EAAE_Bonfiglio_Chiodo.pdf (date of access 26.12.2017)

2. By Jacobs, I.A., Olanrewaju, T.O., Chukwudi, P.O. (2017). Comparative assessment of rural development programs of selected ngos in plateau state, northcentral, Nigeria. Journal of Rural Social Sciences, vol. 32, no. 1, URL:https://www.questia.com/library/journal/1P4-1950036989/comparative-assessment-of-rural-development-programs (date of access 22.03.2018)

3. Li, Y., Long, H., Liu, Y. (2015). Spatio-temporal pattern of China's rural development: A rurality index perspective. Journal of Rural Studies, vol. 38, april 01, 2015, pp. 12-26. URL:https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84922321671&origin=inward&txGid=6fe6483e84c431a381a26d969e16452c (date of access 22.03.2018).

4. Adukova A.N. Ocenka upravleniya razvitiem sel'skih territorij v stranah mira [Assessment of rural development management in the countries of the world]. Ehkonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve. 2016. vol. 26. no. 1. pp. 92-94.

5. Antonova N.I. Formy razvitiya sel'skih territorij i principy ocenki ih ehffekti nosti [Forms of development of rural areas and principles for assessing their effectiveness]. V sbornike: Perspektivy razvitiya sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii: innovacionno-tekhnologicheskie parametry, formy territorial'noj organizacii materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2016, no. 5, pp. 210-215.

6. Vorob'eva V.V., Vorob'ev S.P., CHernyh A.A. Ocenka vliyaniya lichnyh podsobnyh hozyajstv na social'no-ehkonomicheskoe razvitie sel'skih territorij Altajskogo kraya [Estimation of influence of private subsidiary farms on social and economic development of rural territories of Altai Krai]. Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ehkonomika, nauka, tekhnologii, 2016, no. 4, pp. 20-24.

7. Gricenko G.M. Metodologicheskie podhody k sovershenstvovaniyu strategicheskogo upravleniya sel'skim municipal'nym obrazovaniem [Methodological approaches to improvement of strategic management of rural municipality]. Fundamental'nye issledovaniya. 2015. no. 12-6. pp. 1194-1198. URL:https://elibrary.ru/download/elibrary_25459004_47287270.pdf (date of access 20.03.2018).

8. Gricenko G.M. Problemy primeneniya slozhivshihsya metodov opredeleniya ehffektivnos i realizacii municipal'nyh program [Problems of application of the developed methods of determination of efficienc of implementation of municipal programs]. V sbornike: Prodovol'stvennaya bezopasnost', importozameshchenie i social'no-ehkonomicheskie problemy razvitiya APK materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2016, no. 4, pp. 41-45.

9. Kovaleva E.B., Pytkina S.A., Ionova I.G. Ocenka ehffektivnosti upravleniya razvitiem infrastruktury sel'skih territorij regiona v sovremennyh usloviyah [Evaluation of efficienc of management of development of infrastructure of rural territories of the region in modern conditions]. V sbornike: Sovremennye problemy razvitiya ehkonomiki i upravleniya v regione materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2016, pp. 382-385.

10. Kosenchuk O.V., Zinich A.V. Metodika ocenki mnogofunkcional'nogo razvitiya sel'skih territorij [Methods of estimation of multifunctional development of rural areas]. Ehkonomika sel'skogo hozyajstva Rossii, 2017, no. 11, pp. 84-89.

11. Kudinova M.G., Glotova N.I., Gerauf YU.V. Ocenka vliyaniya investicionnoj privlekatel'nosti sel'skih territorij Altajskogo kraya na razvitie i povyshenie sel'skohozyajstvennogo proizvodstva [Assessment of the impact of the investment attractiveness of rural areas of the Altai territory on the development and improvement of agricultural production]. V sbornike: Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: v trekh tomah, 2017, pp. 100-104.

12. Lazareva V.V., Zinchenko M.V., Babij N.V., Vlasova N.YU. Ocenka ustojchivosti razvitiya prigranichnyh sel'skih territorij Amurskoj oblasti [Assessment of sustainable development of border rural areas of the Amur region]. Uspekhi sovremennoj nauki, 2017, vol. 3. no. 2, pp. 39-42.

13. Panova A.A., YArockaya E.V. Ocenka vliyaniya osnovnyh faktorov proizvodstva na ustojchivoe razvitie sel'skih territorij [Assessment of the impact of the main factors of production on the sustainable development of rural areas]. Novaya nauka: Teoreticheskij i prakticheskij vzglyad, 2016, vol. 81, no. 5. pp.285-288.

14. Rassadin V.V., Pavlov A.YU., Batova V.N., Vinnichek L.B. Formirovanie osnovnyh indikatorov ustojchivogo razvitiya sel'skih territorij s pozicij ehvolyucionno-geneticheskogo podhoda [Formation of the main indicators of sustainable development of rural areas from the perspective of evolutionary-genetic approach]. Niva Povolzh'ya, 2015. vol. 36, no. 3, pp. 139-145. URL:https://elibrary.ru/download/elibrary_24999281_60518929.pdf (date of access 16.02.2018)

15. Sabetova T.V. Ocenka ehffektivnosti gosudarstvennoj podderzhki sel'skogo hozyajstva i ustojchivogo razvitiya sel'skih territorij [Evaluation of the effectiveness of state support for agriculture and sustainable development of rural areas]. Sovershenstvovanie ucheta, analiza i kontrolya kak mekhanizmov informacionnogo obespecheniya ustojchivogo razvitiya ehkonomiki, 2016, no. 2, pp. 280-286.

16. Stadnik A.T., CHernova S.G. Razrabotka indikatorov upravleniya gosudarstvenno-kooperativnymi formirovaniyami v APK regiona [Development of management indicators of state-cooperative formations in the agro-industrial complex of the region]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017, vol. 42. no. 1, pp.241-245. URL:https://elibrary.ru/download/elibrary_28944373_90492379.pdf (date of access 15.03.2018).

17. Truhachev A.V. Metodicheskie voprosy ocenki i rejtingovaniya territorij dlya razvitiya sel'skogo turizma [Methodological issues of evaluation and rating territories for the development of rural tourism]. Servis plus, 2016, vol. 10, no. 1, pp. 30-37.

18. Truhachev V.I., Gromov E.I. Ocenka urovnya razvitiya sel'skih territorij v razreze regionov Rossii [Assessment of the level of development of rural areas in the context of Russian regions]. Ehkonomika sel'skogo hozyajstva Rossii, 2016, no. 4, pp. 57-65.

19. Hamavova A.A. Mnogokriterial'naya ocenka kak bazis sistemy upravleniya razvitiem sel'skih territorij [Multi-criteria evaluation as the basis of the system of management of development of rural territories]. Simvol nauki, 2016, vol. 14, no. 2-2, pp. 90-93.

20. SHumakova O.V., Kutuzova M.V. Monitoring urovnya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya municipal'nyh rajonov sel'skoj mestnosti (na primere Omskoj oblasti) [Monitoring of the level of socio-economic development of municipal areas of rural areas (on the example of the Omsk region)]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, vol. 62, no. 5, pp. 3-7.

21. YUrzina T.A. Modeli kompleksnogo razvitiya sel'skoj territorii: ih harakteristika i ocenka [Integrated rural development models: their characteristics and assessment]. Upravlenie ehkonomicheskimi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, vol. 103. no. 9, pp. 11.

***Поступила 28.03.2018, принята к публикации 20.04.2018.***

***Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.***

## АФФИЛИАЦИЯ АВТОРОВ

*Косенчук Ольга Виталиевна – канд. с.-х. наук, доц., ORCID: 0000-0003-1096-5722, ResearcherID: L-2874-2016, декан факультета зоотехнии, товароведения и стандартизации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», 644008, г. Омск, Институтская площадь, 1, 8 (983) 117-59-52, oliakos55@yandex.ru.*

*Kosenchuk Olga Vitalievna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, ORCID: 0000-0003-1096-5722, ResearcherID: L-2874-2016, Dean of the Faculty "Zootechnics, Commodity Science and Standardization", Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, 1, Institutskaya Sq., 8 (983) 117-59-52, oliakos55@yandex.ru)*

*Зинич Алла Владимировна – канд. эконом. наук, доц., доц. кафедры менеджмента и маркетинга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (644008, г. Омск, Институтская площадь, 1, 8 (3812) 65-26-66, klimenkoallaw@mail.ru)*

*Zinich Alla Vladimirovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Management and Marketing", Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, 1, Institutskaya Sq., 8 (3812) 65-26-66, klimenkoallaw@mail.ru)*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Косенчук О.В. Разработка авторской методики оценки сельских территорий в контексте их многофункционального развития. Определение базовых функций, выполняемых сельскими территориями и подбор статистических показателей, характеризующих их. Разработка методов расчета исследуемых индикаторов. Написание разделов «Методы и материалы», «Результаты», «Обсуждение».*

*Зинич А.В. Исследование состояния вопроса, связанного с проведением мониторинга развития сельских территорий в России и за рубежом. Разработка критериев оценки показателей в предлагаемой методике.*

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ СТАТЬИ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: 05.05.00 Транспортное, горное и строительное машиностроение; 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление; 05.22.00 Транспорт; 05.23.00 Строительство и архитектура; 08.00.00 Экономические науки. Редакция принимает к рассмотрению ***оригинальные научные статьи*** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; ***обзорные статьи*** – (критиче-ское обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других 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. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет ***ретрагирована*** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

**1 УДК.** На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (**УДК**) (размер шрифта 10 пт).

**2. Заглавие статьи.** Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

**3. Фамилии авторов**. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте http://translit.ru, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

**4. Аннотация.** Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 150 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится 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).

**5. Ключевые слова** служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов − 10–12, количество слов внутри ключевой фразы − не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

**6. Благодарности.** Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

**7. Основные положения.** Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

**8. Основной текст статьи** излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1−4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

**9. Библиографический список (References)**

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

**Аффилиация.** Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID,ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail.

Приводится на русском и английском языках.

**Технические требования к оформлению.**

Формат А4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

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, Рисунок 1 − Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подрисуночные подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться 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. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;
- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

**Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация)**. Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

**Рецензирование.** Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

**Редакционная подготовка.** Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации − литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректура статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

**Публикация.** Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.

**Контактная информация:**
e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org;
Почтовый адрес редакции: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. ФГБОУ ВО «СибАДИ».
Редакция научного рецензируемого журнала «Вестник СибАДИ»,
издательско-полиграфический комплекс: 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, д 1.
Тел. (3812) 65-88-30.
Редактор–ответственный секретарь «Вестника СибАДИ» – Куприна Татьяна Васильевна
*Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.*
*Гонорары не выплачиваются.*
**Все статьи публикуются бесплатно.**
Информация о научном рецензируемом журнале «Вестник СибАДИ»
размещена на сайте: **http://vestnik.sibadi.org**