

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ВЕСТНИК СИБАДИ

Том 15, № 4. 2018. Сквозной номер выпуска – 62
(Vol. 15, no. 4. 2018. Continuous issue – 62)

Омск – 2018

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Корчагин П.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
Щербakov 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. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия
Перебуд Я.А. д-р экон. наук, пров. 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. Днепрпетровск, Украина
Эдвин Козневски, д-р техн. наук, проф., г. Белосток, Польша
Боброва Т.В., д-р техн. 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

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
Edwin Koźniewski, Doctor of Science, Professor, Białystok, Poland
Bobrova T.V., Doctor of Science, Professor of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

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
Кортаев 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
Зырянов В. В. д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону.
Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) г. Москва, Россия
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф., Директор Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» г. Орел, Россия

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 (OmitT), 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
Kortaeve 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
Zyryanov Vladimir V. Doctor of technical science, professor Don State Technical University, Rostov-na-Donu
Trofimenko Yu. V. Doctor of technical science, professor, Moscow automobile and road construction state technical university (MADI) Moscow, Russia
Novikov A. N. Doctor of technical science, professor, Orel State University named after I.S. Turgenev Orel , 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, проспект 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 20.08.2018 г. Дата выхода в свет 30.08.2018. Формат 60×84 %. 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

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Корчагин П.А., Летопольский А.Б., Тетерина И.А.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОКОВОГО РАБОЧЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА..... 492**

В.А. Мещеряков, В.В. Вебер

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЯГОВЫМ РЕЖИМОМ АВТОГРЕЙДЕРА 502**

В.А. Рощин, С.Д. Иванов, Н.Л. Михальчик

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АЛГОРИТМА
САМОНАСТРОЙКИ ПРИБОРА ОГРАНИЧИТЕЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ОГШ
ДЛЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ 514**

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

А.М. Асхабов, Е.С. Воеводин, В.А. Зеер, А.С. Кашура

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДАЛЬНОМЕРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
НА ТОЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 526**

Н.М. Филькин, А.М. Татаркин

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРАНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ В КАБИНЕ
УНИФИЦИРОВАННОЙ МАШИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА..... 538**

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

А.В. Боровик, А.С. Седова

**ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И СТРАТЕГИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ 548**

В.С. Воробьев, Е.Л. Карелина, О.А. Бендер, К.В. Каталымова

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ 560**

В.В. Голубенко, А.С. Александров, В.В. Сиротюк

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ 574**

А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, А.С. Милькина

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ..... 588**

Н.М. Толыпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев

**ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ НЕФЕЛИНСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД
В БЕТОНАХ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ 596**

А. Чхум

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ТРЕЩИНОЙ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК 606**

РАЗДЕЛ IV. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.А. Гибадуллин, Ю.В. Ерыгин

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА 618**

CONTENTS

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

P.A. Korchagin, A.B. Letopolskiy, I.A. Teterina

**RESEARCH RESULTS OF THE EFFICIENCY OF THE MOTOR GRADER SIDE
WORKING EQUIPMENT 493**

V.A. Meshcheryakov, V.V. Weber

**SETPOINT OPTIMIZATION FOR THE CONTROL SYSTEM OF THE MOTOR GRADER
IN HEAVY-LOAD MODE 503**

V.A. Roshchin, S.D. Ivanov, N.L. Mikhalechik

**DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SELF-ADJUSTMENT
ALGORITHM OF THE OGSH LOAD LIMITER FOR BRIDGE CRANES 515**

PART II. TRANSPORT

A. M. Askhabov, E.S. Voevodin, V.A. Zeer, A.S. Kashura

**ASSESSMENT OF INFLUENCE OF RANGE FINDERS WITH THE IMPROVED
CHARACTERISTICS ON THE ACCURACY OF GEOMETRICAL PARAMETERS
CONTROL OF VEHICLES 527**

N.M. Filkin, A.M. Tatarkin

**NUMERICAL RESEARCH OF THE MOISTURE CONDENSATION ELIMINATION
IN THE CABIN OF THE UNIFIED TECHNOLOGICAL ELECTRIC TRANSPORT VEHICLE . 539**

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

A.V. Borovik, A.S. Sedova

**INNOVATIVE ACTIVITY IN THE ROAD SECTOR AND THE STRATEGY FOR
THE DEVELOPMENT OF SUCH ACTIVITY 549**

V.S. Vorobyov, E.L. Karelina, O.A. Bender, K.V. Katalymova

**STATISTICAL MODELS OF PHYSIC-MECHANICAL CHARACTERISTICS
OF ROADS IN THE AREA OF CULVERTS 561**

V.V. Golubenko, A.A. Aleksandrov, V.V. Sirotyuk

**ANALYSIS OF PREDICTION METHODS FOR THE FUNCTIONAL DURABILITY
OF ROAD MARKINGS 575**

A.D. Tolstoy, V.S. Lesovik, A.S. Milkina

**FEATURES OF THE STRUCTURE OF NEW GENERATION CONCRETE WITH
THE USAGE OF ARTIFICIALLY-PRODUCED MATERIALS 589**

N.M. Tolypina, E.M. Shigareva, M.V. Golovin, D.S. Shigarev

**APPLICATION OF AGGREGATES OF NEPHELINE BEARING ROCKS
IN INCREASED CORROSION RESISTANCE CONCRETE 597**

A. Ckhum

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DEFLECTED MODE OF THE REINFORCED
CONCRETE BEAMS WITH ORGANIZED CRACKS UNDER LONG-TERM LOADING 607**

PART IV. ECONOMICS

A. Gibadullin, Yuri V. Yerygin

**FORMATION OF THE SUSTAINABILITY MODEL
OF THE ELECTRIC POWER COMPLEX 619**

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОКОВОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА

Корчагин П.А., Летопольский А.Б., Тетерина И.А.
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день существует достаточное количество параметров рабочих органов, которые позволяют совершать технологические операции в различных условиях с минимальными затратами труда и энергетических ресурсов. В ходе строительства дорог необходимо произвести значительные объемы земляных работ. Для выполнения этой технологической процедуры используется комплект землеройных и дорожных машин. Автогрейдер относится к землеройно-транспортной машине и необходим для профилирования поверхности, перемещения и разравнивания строительных материалов.

Эффективность работы автогрейдера определяется критерием производительности. Мировые производители землеройной и дорожной техники связывают рост качества и скорости выполнения работ с совершенствованием конструкции исполнительных рабочих органов. Ведутся разработки новых конструктивных вариантов отвалов, в том числе и для автогрейдеров. Такое решение позволит уменьшить необходимое число проходов по строительному участку и сократить время на монтаж рабочего органа. В статье представлен вариант совершенствования рабочего оборудования автогрейдера путем установки бокового рабочего отвала.

Материалы и методы. Получены расчетные зависимости основных параметров автогрейдера: сцепного веса, номинальной силы тяги, сопротивлений, возникающих в рабочем режиме при резании и перемещении грунта, и общая мощность двигателя для рабочего режима при скорости 4 км/ч. Исследованы прочностные характеристики бокового рабочего оборудования автогрейдера. Анализ проведен с использованием программного продукта Solid Works.

Результаты. Результаты теоретических исследований представлены графически и отражают напряжения, перемещения и деформации в предлагаемом боковом рабочем оборудовании автогрейдера. Использование программного продукта Solid Works дало возможность определить запас прочности предлагаемой конструкции. Проведенные исследования позволили подтвердить работоспособность предложенного технического решения.

Обсуждение и заключение. Предложенное техническое решение позволяет увеличить производительность машины при выполнении планировочных работ, сохраняя при этом заданную точность их проведения. Данная конструкция позволяет проводить профилировочные работы не только горизонтальной поверхности, но и работы по возведению дорожной насыпи, когда боковой отвал расположен под углом до 20 градусов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автогрейдер, рабочее оборудование машин для земляных работ, отвал автогрейдера, профиль спланированной поверхности, технология строительства земляного полотна, профилирование насыпи, боковой отвал автогрейдера.

© П.А. Корчагин, А.Б. Летопольский, И.А. Тетерина



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

RESEARCH RESULTS OF THE EFFICIENCY OF THE MOTOR GRADER SIDE WORKING EQUIPMENT

P.A. Korchagin, A.B. Letopolskiy, I.A. Teterina

Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Nowadays there is sufficient number of the working bodies' parameters, which allow performing technological operations in different conditions with minimal labor and energy resources. It is necessary to produce significant excavation during roads' construction. Therefore, to perform such technological procedure excavation and road machinery are used. The motor grader is an earth-moving machine and is necessary for surface profiling, moving and construction materials' level.

The motor grader efficiency is determined by the performance criterion. World producers of earthmoving and road machinery associate the growth of quality and speed of work with the improvement of the executive working bodies. Moreover, new design variants of dumps are being developed, including design variants for motor graders. Such solution would allow to reduce the necessary number of passages along the construction site and to shorten the time for mounting the working body. The article presents the variant of the motor grader working equipment improving by installing the side working dump.

Materials and methods. The calculated dependences of the main parameters of the motor grader are obtained, such as the coupling weight, the nominal traction force, the resistances arising in the operating mode when cutting and moving the ground, and the total engine power for the operating mode at 4 km per hour speed. Strength characteristics of the side working equipment of the motor grader are investigated. The analysis is carried out by using the Solid Software.

Results. The results of the theoretical studies are presented graphically and reflected the stresses, displacements and deformations in proposed lateral working equipment of the motor grader. Using the Solid Works software product it is possible to determine the safety margin of the proposed design. The conducted research allows confirming the working capacity of the proposed technical solution.

Discussion and conclusion. The proposed technical solution allows increasing the productivity of the machine while performing the planning works, while maintaining the specified accuracy of their implementation. In addition, such design allows profiling not only the horizontal surface, but also the embankment construction when the side blade is located at an angle of up to 20 degrees.

KEYWORDS: motor grader, working equipment of earthmoving machines, motor grader blade, planned surface profile, technology of the road base construction, embankment profiling, motor grader side slope.

© P.A. Korchagin, A.B. Letopolskiy, I.A. Teterina



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития строительно-дорожного комплекса страны производители техники ставят перед собой ряд приоритетных задач: внедрение новых подходов и технологий в производстве строительства объектов инфраструктуры, применение более совершенных средств механизации и использование передовых научных разработок. Одним из вариантов решения этой сложной задачи является комплексная механизация и внедрение систем автоматизации [1].

Внедряемые технологии строительства автомобильной дороги взаимосвязаны с необходимостью соблюдения требований по ровности поверхности и заданным параметрам поперечного и продольного профилей [1]. Несоблюдение этих требований ведет к нарушению технологии строительства и потери качества дорожной одежды будущей автомагистрали. Машины, занятые в строительном процессе, должны обеспечивать необходимую производительность и качество выполнения технологических операций [2].

Процесс внедрения новых технологий строительства земляного полотна связан с необходимостью обеспечения ровности его поверхности и геометрических параметров поперечного и продольного профилей. Несответствие проектным отметкам и недостаточная ровность поверхности земляного полотна ведут к перерасходу строительных материалов при сооружении слоев дорожной одежды [1].

Высокие требования к качеству технологических операций (в том числе планировочных работ), обеспечивающих ровность земляного полотна, вступают в противоречие с производительностью машин, занятых в этих операциях [3].

Управление отвалом автогрейдера – сложная задача, реализующаяся как ручным способом, так и с помощью системы автоматического моделирования. Ручное управление отвалом автогрейдера – задача, требующая соблюдения точности выполнения операций и вместе с тем соблюдения точности проектного профиля, характеризующаяся неоднократными проездами по строительному участку. Это приводит к снижению производительности автогрейдера [1, 2].

Однако эти требования к профилю земляного полотна могут быть выполнены автогрейдером с системой автоматического управления рабочим органом. Системы автоматизирован-

ного управления рабочим органом позволяют выполнить требования к профилю дорожного полотна, однако их внедрение данных систем пока не позволяет использовать максимальную скорость машины при выполнении планировочных работ [3, 4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Вышесказанное обосновывает необходимость создания конструкции рабочего оборудования автогрейдера, позволяющего повысить производительность машины, сохраняя при этом заданную точность их проведения и скоростные характеристики выполнения работ. Совершенствование конструкции рабочего органа повысит производительность рабочих операций и обеспечит заданную точность при планировочных работах [4].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Одним из вариантов решения изложенных противоречий является совершенствование рабочего органа автогрейдера путем разработки конструкции навесного бокового отвала (рисунок 1) [5]. Конструкция дополнительного оборудования включает в себя отвал (1), раму (2), передний и задний кронштейны (3), рычаги (4) и гидроцилиндры подъема отвала (5), гидроцилиндры выдвижения отвала (6) [6]. Отвал крепится к раме с помощью вертикального шарнира. Регулировка положения отвала и угол его установки к оси движения автогрейдера осуществляется с помощью гидроцилиндров.

Использование бокового отвала автогрейдера позволяет повысить производительность автогрейдера за счет увеличения ширины профилируемой поверхности на легких операциях, таких как перемещение, разравнивание грунта и планировочные работы.

Преобладающим режимом работы автогрейдеров является тяговый, это обусловлено особенностями его рабочего процесса. Один из главных параметров автогрейдера – это его масса, поскольку она определяет тяговые качества машины. Примерно 80–85% времени работы автогрейдера приходится на тяговый режим. Этим обусловлена необходимость проведения расчетов сцепного веса, углов установки отвала автогрейдера, размеров отвала, сопротивлений, возникающих в рабочем режиме при резании и перемещении грунта, определения массы и колесной схемы мощности двигателя автогрейдера [7, 8].

В качестве базовой машины был выбран автогрейдер модели ДЗ-98. Основные харак-

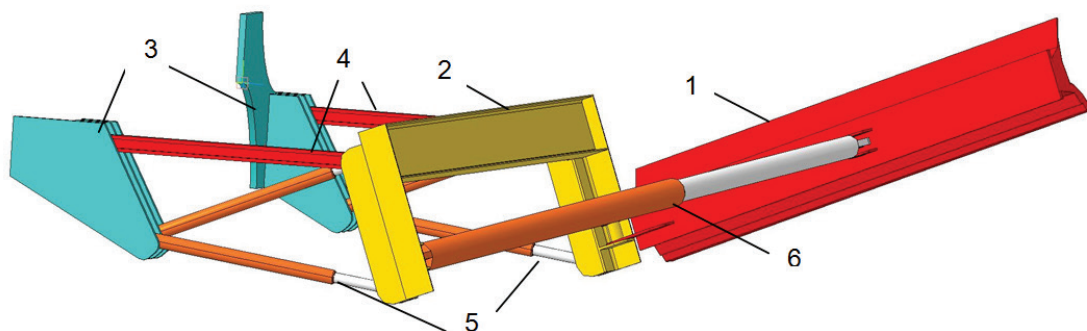


Рисунок 1 – Общий вид конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 1 – General view of the side working structure equipment of the motor grader

теристики базовой машины и дополнительного рабочего оборудования представлены в таблице.

Таблица
ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗ-98
Table
DZ-98 MOTOR GRADER FEATURES

№ п/п	Параметр	Показатель
Базовая машина		
1	Тип	Тяжелый
2	Масса	19,5 т
3	Колесная формула	1х3х3
4	Мощность двигателя, кВт	173
5	Рабочая скорость, км/ч	4
6	Транспортная скорость, км/ч	40
Рабочее оборудование		
7	Тип отвала	Секционный
8	Материал	Сталь 35 ХГСА
9	Максимальная реакция грунта, приложенная на конце отвала, кН	6,21
10	Угол резания, град.	30

Сцепной вес автогрейдера $G_{сц}$, равен [9]:

$$G_{сц} = \psi_0 \cdot G, \quad (1)$$

где G – вес автогрейдера, кН; ψ_0 – коэффициент сцепного веса автогрейдера, учитывающий использование веса автогрейдера в качестве сцепного при различных колесных формулах, в том числе 1х3х3, $\psi_0 = 1,0$.

$$C = m \cdot g, \quad (2)$$

где m – масса автогрейдера, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

Номинальная сила тяги (T) определяется из условия [9, 10]:

$$T = \varphi \cdot G_{сц}, \quad (3)$$

где φ – коэффициент сцепления, $\varphi = 0,5$.

Сопротивление основного и дополнительного отвалов резанию грунта ножом W_p [11]:

$$W_p = k \cdot F, \quad (4)$$

где F – площадь поперечного сечения вырезаемой стружки грунта, м²; k – удельное сопротивление резанию, $k = 23$ кН/м².

$$F = L \cdot h \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где h – толщина стружки, м; L – длина ножа, м; α – угол установки ножа, $\alpha = 30$ град.

Сила на преодоление трения ножа о грунт $W_{тр}$

$$W_{тр} = \mu_1 \cdot k \cdot L \cdot h, \quad (6)$$

где μ_1 – коэффициент трения грунта по металлу, $\mu_1 = 0,5$.

Сопротивление поступательному перемещению перед отвалом призмы волочения грунта $W_{пр}$ [12, 2]:

$$W_{пр} = \mu_2 \cdot G_{пр} \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

где $G_{пр}$ – вес призмы грунта перед отвалом, Н; μ_2 – коэффициент трения грунта по грунту, $\mu_2 = 0,5$.

$$G_{\text{пр}} = \rho_r \cdot (H - 0,25 \cdot h)^2 \cdot L \cdot \frac{g}{2 \cdot k \cdot t \cdot g \delta}, \quad (8)$$

где ρ_r – плотность грунта, $\rho_r = 1800 \text{ кг/м}^3$; δ – угол естественного откоса грунта, $\delta = 25$ град.

Соппротивление грунта при движении его вверх по отвалу W_b [13]:

$$W_b = \mu_1 \cdot G_{\text{пр}} \cdot \cos^2 \gamma, \quad (9)$$

где γ – угол резания, $\gamma = 30$ град.

Соппротивление трения призмы волочения при ее перемещении вдоль отвала W_c :

$$W_c = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot G_{\text{пр}} \cdot \cos \alpha. \quad (10)$$

Расчет сил соппротивления дополнительно от отвала автогрейdera. Высота отвала [13]:

$$H_{\text{отв}} = 0,2 \cdot L - 0,12. \quad (11)$$

Радиус кривой отвала

$$R = \frac{H_{\text{отв}}}{\cos \varphi + \cos \alpha}. \quad (12)$$

Соппротивление от силы инерции W_i

$$W_i = \frac{\xi \cdot G \cdot Q_{\text{гр}}}{g} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (13)$$

где ξ – коэффициент учета вращающихся масс, $\xi = 1,1$.

Соппротивление от преодоления подъема W_y

$$W_y = G \cdot \sin \beta, \quad (14)$$

Суммарная сила соппротивления от основного и дополнительного отвалов

$$W_{\Sigma} = (W_p + W_{\text{тр}} + W_{\text{пр}} + W_b) + (W_c + W_p + W_{\text{тр}} + W_{\text{пр}} + W_b + W_c + W_i + W_y). \quad (15)$$

Проведен проверочный расчет двигателя по мощности. Необходимая мощность двигателя для рабочего режима определяется по формуле

$$N_p = \frac{\Sigma W \cdot V_{\partial}}{3,6}, \quad (16)$$

где N_p – потребная мощность двигателя для рабочего режима, кВт; V_{∂} – действительная скорость движения автогрейdera в рабочем режиме, км/ч, $V_{\partial} = 4$ км/ч.

Мощности на буксование определяются по формуле [13]:

$$N_b = (\varphi + f) \frac{G_{\text{сц}} \cdot V_{\partial} \cdot \delta}{270 \cdot 9,8 \cdot (1 - \delta)} \cdot 0,7355, \quad (17)$$

где f – коэффициент прокатывания в рабочих условиях, $f = 0,07$; δ – коэффициент буксования при планировке, $\delta = 18$ –22%.

Мощность на перекачивание определяется по формуле

$$N_f = \frac{G_{\text{сц}} \cdot V_{\partial} \cdot f}{270 \cdot 9,8 \cdot \psi} \cdot 0,7355. \quad (18)$$

Общая мощность определяется по формуле [14,15]:

$$N_o = \frac{N_p + N_b + N_f}{\eta_t + \eta_m}, \quad (19)$$

где η_t – КПД трансмиссии, $\eta_t = 0,86$; η_m – коэффициент, учитывающий изменение мощности двигателя из-за неуставившейся нагрузки, $\eta_m = 0,88$.

$$N_o < N_{\text{б.м.}}, \quad (20)$$

где $N_{\text{б.м.}}$ – мощность двигателя базовой машины, $N_{\text{б.м.}} = 184$ кВт.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных расчетов было определено:

1. Суммарная сила соппротивления, возникающая при работе основным и боковым отвалами, составляет 43,69 кН. Полученное значение не превышает значение номинальной силы тяги, найденное по выражению (3).

2. Расчет баланса мощности двигателя установил правомерность неравенства (20), следовательно, параметры бокового отвала позволяют автогрейдеру выполнять необходимые рабочие операции.

Расчет на прочность бокового рабочего оборудования предложенной конструкции проводился с целью поиска наиболее нагруженных участков оборудования [14]. Определялись напряжения, возникающие в элементах бокового оборудования при различных нагрузках. В качестве метода проведения прочностного расчета применен метод конечных элементов. Данный метод является одним из эффективных при решении инженерных и физических задач, в том числе анализа напряжений в конструкциях сложных систем, какой является конструкция бокового рабочего оборудования автогрейdera. Реализован метод конечных

элементов с помощью программного продукта Solid Works. Исходные данные для проведения расчета представлены в таблице.

Основные этапы исследования:

1. Разбить конструкцию на элементы.
2. Выразить перемещения в элементе через смещения узловых точек элемента.
3. Составить разрешающие уравнения (принцип возможных перемещений).
4. Определить узловые смещения.
5. Определить деформации и напряжения в конструкции [15,16].

На рисунке 2 представлена визуализация теоретических исследований, направленных на определение возникающих напряжений в конструкции. Минимальные значения напряжения составляют $5,26 \text{ Н/м}^2$, максимальные – $9,1 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$.

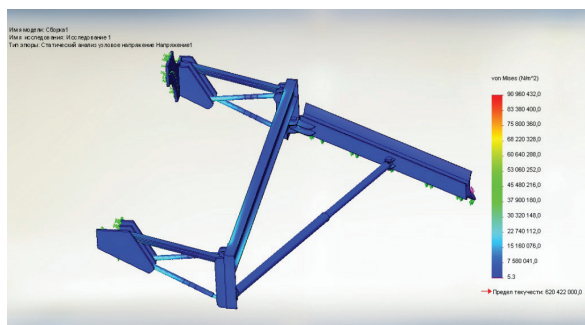


Рисунок 2 – Исследование напряжений в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 2 – Analysis of the strain of the motor grader side working equipment

Проведенные исследования позволили определить участки максимальных напряжений в конструкции бокового отвала автогрейдера [17]. Исследования показали, что максимальные напряжения не превышают допустимого предела текучести материала [18].

На рисунке 3 представлена визуализация исследований, направленных на определение перемещений в конструкции бокового отвала автогрейдера. Расчеты показали, что минимальные значения перемещения в конструкции равны 0 мм, а максимальные – 2,177 мм.

Исследования позволили определить места в конструкции бокового отвала с возможными перемещениями в деталях конструкции [19]. Установлено, что максимальные перемещения в конструкции находятся в раме бокового оборудования и гидроцилиндрах управления.

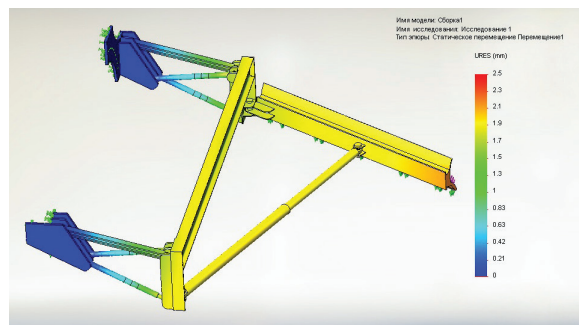


Рисунок 3 – Исследование перемещений в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 3 – Displacement research of the motor grader side working equipment

На рисунке 4 представлена визуализация теоретических исследований, направленных на определение величины деформации, возникающей в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера [20]. При приложении нагрузки, равной силе сопротивления резанию грунта боковым отвалом, максимальная величина деформации в конструкции равна $2,46 \cdot 10^{-11} \text{ мм}$.

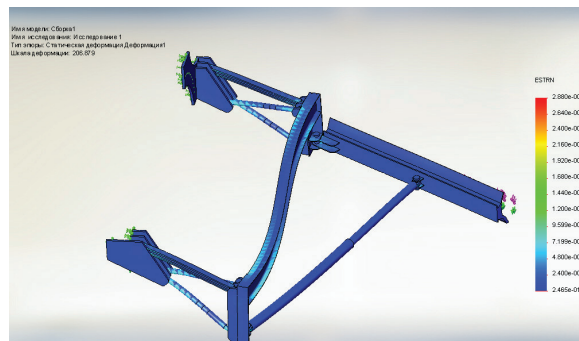


Рисунок 4 – Исследование деформации в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 4 – Deformation research of the motor grader side working equipment

Проведенные исследования показали, что при моделировании возможной нагрузки на боковое рабочее оборудование критических значений в узлах конструкции не возникает [21].

На рисунке 5 представлена визуализация теоретических исследований определения запаса прочности в конструкции бокового отвала автогрейдера [22,23]. Минимальный запас прочности – 21,5, максимальный – 162 631.

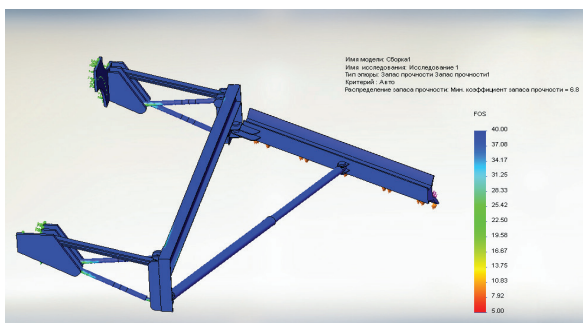


Рисунок 5 – Определение запаса прочности в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 5 – Determination of safety margin of the motor grader side working equipment

Исследование запаса прочности показало, что минимальное значение составляет 21,5, это позволяет сделать вывод о работоспособности бокового рабочего оборудования при возникающих нагрузках в рабочем режиме автогрейдера.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные расчетные зависимости позволили определить сцепной вес автогрейдера, номинальную силу тяги, общую мощность двигателя, силы сопротивления, возникающие в ходе рабочего процесса автогрейдера. На основе проведенного прочностного расчета сделан вывод о достаточном запасе прочности предложенной конструкции. Установлено, что возникающие напряжения и перемещения в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера не превышают критических значений.

Использование продолженной конструкции при проведении профилировочных работ позволит сократить число проходов автогрейдера и увеличить производительность машины. Возможность изменения положения дополнительного отвала расширяет область применения автогрейдера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисов В.П., Матяш И.И., Зубарев К.В. Исследование влияния конструктивных параметров рабочего органа автогрейдера на его производительность // Вестник СибАДИ. 2015. № 2 (42). С. 15–19.
2. Севров К.П., Горячко Б.Ф., Покровский А.А. Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет. М.: Машиностроение, 1970 г. 192 с.
3. Добронравов С.С. Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. М.: Высшая школа, 2006. 445 с.

4. Syrkin V. V. Balakin P. D., Treyer V. A. Study of hydraulic direct-acting relief valve. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 858: Mechanical Science and Technology Update. P. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012035.
5. Агарков А.М., Чеховской Е.И. Анализ конструкции рабочего оборудования автогрейдера с целью повышения надежности // Инновационная наука. 2016. № 12-2. С. 9–11.
6. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V. Analytical solution of the problem of acceleration of cargo by a bridge crane with constant acceleration at elimination of swings of a cargo rope // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 944, no. 1. Ст. 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012062.
7. Гребенникова Н.Н., Бледных Д.С. Совершенствование конструкции рабочего оборудования автогрейдера с целью расширения его эксплуатационных возможностей // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 3-8. С. 1235-1237.
8. Демиденко А.И., Летопольский А.Б., Семкин Д.С., Потеряев И.К. Экспериментальные исследования процесса резания грунта скребками траншейного цепного экскаватора // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 3. С. 256-263.
9. Kapelyuhovskiy A.A., Stepanova E.P. The study of the emission frequency control system stability in hydropulse generator // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876: Oil and Gas Engineering (OGE) : conference. DOI: 10.1063/1.4998917. WOS:000410776900097.
10. Николаев А.П., Киселёв А.П., Гуреева Н.А., Киселёва Р.З. Расчет композиционных инженерных конструкций на основе метода конечных элементов. Волгоград. ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2016. 128 с.
11. Касумов Е.В. Методика поиска рациональных конструктивных параметров с применением метода конечных элементов // Ученые записки ЦАГИ. 2015. Т. 46. № 2. С. 63-79.
12. Алексеева Т.В., Галдин Н.С., Шерман Э.Б. Гидравлические машины и гидропривод мобильных машин. Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 1994 г. 212 с.
13. Курдюк В.А., Вольская Н.С., Русанов О.А. Моделирование системы «кузов-подвеска-колесо-грунт» с использованием метода конечных элементов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2016. № 1 (27). С. 9-15.

14. Паничкин А.В., Трубин А.С. Определение эффективности современных отечественных автогрейдеров. // Мир транспорта и технологических машин. 2016. № 4 (55). С. 48-54.

15. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель сложной динамической системы «возмущающие воздействия - машина - оператор // Вестник СибАДИ. 2015. № 5 (45). С. 118-123.

16. Шевченко В.О., Рагулин В.Н., Фатеев Р.В. Исследование нагружения системы управления основным отвалом автогрейдера методом трехмерного виртуального моделирования // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2014. № 65-66. С. 216-220.

17. Водяницкий А.В., Юдина Н.Ю. Применение метода конечных элементов для решения задач исследования условий равновесия и совместимости деформаций стоек культиватора. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 3 (6). С. 196-201.

18. Липка В.М., Леонтьев В.В., Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л. Моделирование с помощью метода конечных элементов и исследование влияния силовых нагрузок на надежность резьбовых соединений в силовых агрегатах автомобилей // Вісник СевНТУ. 2014. № 146. С. 14-20.

19. Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm // Automation and Remote Control. 2015. Т. 76. № 1. С. 149–156. DOI: 10.1134/S0005117915010142.

20. Ерохина Е.Н. Метод конечных элементов – универсальное средство инженерного анализа различных объектов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 372-377.

21. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes // Polymer Science. Series D. 2015. Т. 8. № 3. С. 219-222. DOI: 10.1134/S199542121503003X.

22. Shcherba V. E., Grigoriev A. V., Averyanov G. S., Surikov V. I., Vedruchenko V. P., Galdin N. S., and Trukhanovaless D. A. The impact analysis of the connecting pipe length and diameter on the operation of a piston hybrid power machine of positive displacement with gas suction capacity. //AIP Conference Proceedings “Oil and gas engineering”(OGE-2017). Omsk, 24 April 2017. Vol. 1876. Ст. 020032. DOI: 10.1063/1.4998852.

23. Tarasov V. N., Boyarkina I. V. Method of sections in analytical calculations of pneumatic tires // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 944, no. 1. Ст. 012116. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012116.

REFERENCES

1. Denisov V.P., Matjash I.I., Zubarev K.V. Issledovanie vlijaniya konstruktivnyh parametrov rabocheho organa avtogrejdera na ego proizvoditel'nost' [Investigation of the influence of the working body design parameters of the motor grader on its productivity]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 2 (42), pp. 15-19. (in Russian).

2. Sevrov K.P., Gorjachko B.F., Pokrovskij A.A. *Avtogrejder. Konstruktsija, teorija, raschet* [Motor graders. Construction, theory, calculation]. Moscow, Mashinostroenie, 1970. 192 p. (in Russian).

3. Dobronravov S.S., Dobronravov M.S. *Stroitel'nye mashiny i oborudovanie* [Construction machinery and equipment]. Moscow, Vysshaja shkola, 2006. 445 p. (in Russian).

4. Syrkin V.V. Balakin P.D., Treyer V.A. Study of hydraulic direct-acting relief valve. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 858: Mechanical Science and Technology Update. P. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012035.

5. Agarkov A.M., Chehovskoj E.I. Analiz konstruktsii rabocheho oborudovanija avtogrejdera s tsel'ju povyshenija nadezhnosti [Analysis of the motor grader working equipment in order to improve reliability]. *Innovatsionnaja nauka*, 2016, no 12-2, pp. 9-11. (in Russian).

6. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V. Analytical solution of the problem of acceleration of cargo by a bridge crane with constant acceleration at elimination of swings of a cargo rope // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 944, no. 1. St. 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012062.

7. Grebennikova N.N., Blednyh D.S. Sovershenstvovanie konstruktsii rabocheho oborudovanija avtogrejdera s tsel'ju rasshirenija ego `ekspluatatsionnyh vozmozhnostej [Improvement of the design of the motor grader working equipment in order to expand its operational capabilities]. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*, 2018, no 3-8, pp. 1235-1237. (in Russian).

8. Demidenko A.I., Letopol'skij A.B., Semkin D.S., Poterjaev I.K. `Eksperimental'nye issledovanija protsessa rezanija grunta skrebkami transhejnogo tsepnogo `ekspravatora [Experimental studies of the soil cutting process with the trench chain excavator scrapers].

Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki, 2016, no 3, pp. 256-263. (in Russian).

9. Kapelyuhovskiy A.A., Stepanova E.P. The study of the emission frequency control system stability in hydropulse generator // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876: Oil and Gas Engineering (OGE): conference . DOI: 10.1063/1.4998917. WOS:000410776900097.

10. Nikolaev A.P., Kisel'ov A.P., Gureeva N.A., Kisel'ova R.Z. *Raschet kompozitsionnykh inzhenernykh konstruksiy na osnove metoda konechnykh `elementov* [Calculation of composite engineering structures on the basis of the finite element method]. Volgograd. FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2016. 128 p. (in Russian).

11. Kasumov E.V. Metodika poiska ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov s primeneniem metoda konechnykh `elementov [The method of searching for rational design parameters using the finite element method]. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2015, T. 46, no 2, pp. 63-79. (in Russian).

12. Alekseeva T.V., Galdin N.S., Sherman E.B. *Gidravlicheskie mashiny i gidroprivod mobil'nykh mashin* [Hydraulic machines and hydraulic drive of mobile machines]. Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, 1994. 212 p. (in Russian).

13. Kurdjuk V.A., Vol'skaja N.S., Rusanov O.A. Modelirovanie sistemy "kuzov-podveska-koleso-grunt" s ispol'zovaniem metoda konechnykh `elementov [Modeling of the "body-suspension-wheel-ground" system using the finite element method]. *Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI*, 2016, no 1 (27), pp. 9-15. (in Russian).

14. Panichkin A.V., Trubin A.S. Opredelenie `effektivnosti sovremennykh otechestvennykh avtogrejderov [Determination of the modern domestic motor graders efficiency]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2016, no 4 (55), pp. 48-54. (in Russian).

15. Korchagin P.A., Teterina I.A. Matematicheskaja model' slozhnoj dinamicheskoi sistemy "vozmushchajushchie vozdejstviya - mashina - operator [Mathematical model of the complex dynamic system "perturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 5 (45), pp. 118-123. (in Russian).

16. Shevchenko V.O., Ragulin V.N., Fateev R.V. Issledovanie nagruzhenija sistemy upravlenija osnovnym otvalom avtogrejdera metodom trehmernogo virtual'nogo modelirovanija [Investigation of the control system loading of the motor grader main dump using the method of three-dimensional virtual

modeling]. *Vestnik Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2014, no 65-66, pp. 216-220. (in Russian).

17. Vodjanitskij A.V., Judina N.Ju. Primenenie metoda konechnykh elementov dlja reshenija zadach issledovanija uslovij ravnovesija i sovmestimosti deformatsij stoev kul'tivatora [Application of the finite element method for solving problems of studying equilibrium conditions and compatibility of deformations of the cultivator racks]. *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoi komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovanija*, 2016, T. 3. no 3 (6), pp. 196-201. (in Russian).

18. Lipka V.M., Leont'ev V.V., Kopp V.Ja., Rapatskij Ju.L. Modelirovanie s pomosh'ju metoda konechnykh `elementov i issledovanie vlijanija silovykh nagruzok na nadezhnost' rez'bovykh soedinenij v silovykh agregatah avtomobilej [Modeling with the help of the finite element method and studying the influence of power loads on the reliability of threaded joints in power units of cars]. *Visnik SevNTU*, 2014, no 146, pp. 14-20. (in Russian).

19. Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm. Automation and Remote Control. 2015. T. 76. № 1. pp. 149–156. DOI: 10.1134/S0005117915010142.

20. Erohina E.N. Metod konechnykh elementov – universal'noe sredstvo inzhenernogo analiza razlichnykh ob'ektov [Finite element method is a universal mean of the various objects' engineering analysis]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arhitekture*. Arhitektura i dizajn. Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Samara, 2015, pp. 372-377. (in Russian).

21. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes. Polymer Science. Series D. 2015. T. 8. № 3. S. 219-222. DOI: 10.1134/S199542121503003X.

22. Shcherba V.E., Grigoriev A.V., Averyanov G. S., Surikov V. I., Vedruchenko V. P., Galdin N. S., and Trukhanovaless D. A. The impact analysis of the connecting pipe length and diameter on the operation of a piston hybrid power machine of positive displacement with gas suction capacity. AIP Conference Proceedings "Oil and gas engineering"(OGE-2017). Omsk, 24 April 2017. Vol. 1876. St. 020032. DOI: 10.1063/1.4998852.

23. Tarasov V.N., Boyarkina I.V. Method of sections in analytical calculations of pneumatic tires. Journal of Physics: Conference Series. 2018.

Vol. 944, no. 1. St. 012116. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012116.

Поступила 20.07.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корчагин Павел Александрович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: Korchagin@sibadi.org).

Летопольский Антон Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Тетерина Ирина Алексеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: iateterina@mail.ru).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Korchagin Pavel Aleksandrovich – doctor of technical science, professor, Vice-rector in Scientific Work, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: Korchagin@sibadi.org).

Letopolsky Anton Borisovich – candidate of technical science, associate professor of the Department "Engineering for the Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures", Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Teterina Irina Alekseevna – candidate of technical science, Researcher of the Scientific Research Department, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: iateterina@mail.ru).

ВКЛАД АВТОРОВ

Корчагин П.А. Составлены выражения для определения сопротивлений, возникающих при работе автогрейдера с боковым рабочим оборудованием. Проверка и корректировка статьи. Заключение.

Летопольский А.Б. Найдена суммарная сила сопротивления и сила тяги автогрейдера с боковым рабочим оборудованием. Разработана конструкция бокового рабочего оборудования автогрейдера. Выполнение прочностного расчета в программном продукте SolidWorks.

Тетерина И.А. Анализ состояния вопроса. Оформление готового варианта статьи. Выбор необходимых параметров для прочностного расчета. Разработка объемной модели для проведения прочностного расчета.

AUTHOR CONTRIBUTION

Korchagin P.A. Means for determining the resistances that arise, when the motor grader with side working equipment operates, are presented. The article correction is made. The "conclusion" sector is compiled.

Letopolsky A.B. The total drag force and traction force of the motor grader with lateral working equipment are found by the author. The design of the lateral working equipment of the motor grader is developed. Strength calculation in the Solid Works software product is performed.

Teterina I.A. The status of the issue analysis is prepared. The finished version of the article is presented. The necessary parameters for the strength calculation are selected. The volumetric model for carrying out strength analysis is developed by the author.

УДК 621.878, 519.711.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ РЕЖИМОМ АВТОГРЕЙДЕРА

В.А. Мещеряков, В.В. Вебер
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Разработан метод оптимальной настройки системы автоматического управления рабочим органом тяжелого автогрейдера. Система предназначена для поддержания заданного значения силы сопротивления копания на рабочем органе. Оптимизация задающего воздействия осуществляется по критерию максимальной технической производительности автогрейдера в режиме копания грунта.

Материалы и методы. Оптимальное задающее воздействие формируется на основе информации о характеристиках сигналов – измеренных значений силы сопротивления копания и коэффициента буксования движителей во время предыдущего рабочего прохода автогрейдера. Исследование включает:

- разработку структуры системы управления отвалом автогрейдера, содержащей формирователь задающего воздействия;
- обоснование характеристики сигнала буксования, используемой в целях управления;
- разработку алгоритма формирования задающего воздействия микропроцессорным управляющим устройством;
- программную реализацию имитационной модели тягового режима автогрейдера и проведение вычислительного эксперимента;
- разработку алгоритма формирования массива оптимальных значений задающего воздействия на основе результатов вычислительного эксперимента;
- получение зависимости оптимального задающего воздействия от характеристик сигналов, поступающих в управляющее устройство.

Результаты. Сформирован массив оптимальных значений задающего воздействия в зависимости от характеристик силы сопротивления копания и коэффициента буксования движителей. Предложена структура системы управления, включающая микропроцессорное управляющее устройство, и алгоритм функционирования формирователя оптимального управляющего воздействия.

Обсуждение и заключение. Выполнено теоретическое обоснование оптимального задающего воздействия системы управления тяговым режимом автогрейдера и предложен метод настройки системы автоматического управления отвалом тяжелого автогрейдера в режиме копания грунта.

Отличительными особенностями предложенного метода являются:

- оптимальное управление по критерию технической производительности автогрейдера;
- учет динамики и стохастического характера процессов с помощью имитационной модели, использование среднеквадратического отклонения измеренной силы сопротивления копания для настройки системы;
- учет наличия участков грунтовой поверхности с повышенным буксованием колесных движителей и использование вычисленной доли времени повышенного буксования для настройки системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автогрейдер, система автоматического управления, оптимальное управление, задающее воздействие, имитационное моделирование.

© В.А. Мещеряков, В.В. Вебер



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

SETPOINT OPTIMIZATION FOR THE CONTROL SYSTEM OF THE MOTOR GRADER IN HEAVY-LOAD MODE

V.A. Meshcheryakov, V.V. Weber

Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The authors suggest the optimal tuning method for an automatic control system of the heavy motor grader blade. The demonstrated system regulates the value of digging force. Moreover, the setpoint optimization criterion is the maximum of production rate.

Materials and methods. The optimal setpoint is generating to the signal estimations, specifically to the measured digging force and the wheels slip ratio during the previous stroke of the motor grader.

There search includes:

- development of the blade control system functional diagram including the setpoint former;
- meaningful estimation of the slip ratio signal for control purposes;
- development of the setpoint forming algorithm for a microprocessor control unit;
- program realization of the motor grader workflow model and simulation;
- development of the algorithm to compose the lookup table containing optimal setpoint values and based on simulation results;
- dependence of optimal setpoint on the incoming signal estimations.

Results. The lookup table of optimal setpoint values is obtained, the estimations of digging force and wheels slip ratio are presented. In addition, the authors suggest the control system structure with the optimal setpoint former and also develop the former operation algorithm.

Discussion and conclusion. The optimal setpoint values are theoretically validated for the motor grader control system. The tuning method for an automatic control system of the heavy motor grader blade has the following characteristics as:

- the optimal control criterion as the production rate;
- process dynamics and stochastics;
- the excessive slippage time ratio.

KEYWORDS: motor grader, automatic control system, optimal control, setpoint, simulation.

© V.A. Meshcheryakov, V.V. Weber



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Землеройно-транспортные машины (ЗТМ) оснащаются системами автоматического управления с целью повышения производительности, качества выполняемых работ, улучшения топливной экономичности и снижения нагрузки на человека-оператора. Большинство систем управления тяговым режимом ЗТМ используют гидропривод рабочего оборудования для поддержания рационального нагрузочного режима силовой установки, увеличения объема вырезанного и перемещенного грунта во время рабочего прохода [1, 2, 3].

Оптимизации параметров тяговых режимов ЗТМ посвящены работы, в которых исследованы и обоснованы различные критерии оптимальности: максимальная тяговая мощность [4], производительность ЗТМ [5, 6], удельный расход топлива на единицу объема разработанного грунта [7, 8].

В системах регулирования, поддерживающих заданное значение силы сопротивления копания на рабочем органе ЗТМ, значение задающего воздействия устанавливается при настройке системы, исходя из анализа тяговой характеристики машины, и не изменяется для выбранного режима при эксплуатации системы. Теоретическое обоснование заданных параметров тяговых режимов осуществляется путем математического моделирования динамики рабочих процессов [9, 10, 11, 12], а также в результате анализа статических характеристик двигателя и ЗТМ в целом [13, 14].

Большинство регуляторов систем автоматического управления тяговым режимом реализуют закон управления по отклонению. Основное внимание при синтезе таких систем управления уделяется настройке параметров регуляторов и гидропривода рабочего органа. Управляющие устройства в реальном времени используют информацию об измеряемых сигналах: силе сопротивления копания и коэффициенте буксования, определяемом по значениям действительной и теоретической скорости [15].

Статистические и спектральные характеристики силы сопротивления копания на рабочем органе зависят от глубины резания грунта и объема призмы волочения в динамике, влияют на режим работы силовой установки, скорость машины и, в итоге, на производительность и топливную экономичность машины [4, 16]. Буксование движителей, зависящее от силы тяги и грунтовых условий, также является случайным процессом, характеристики которого необходимо учитывать при обоснова-

нии рекомендуемых параметров тягового режима [17, 18]. Заданное значение силы сопротивления копания следует выбирать с учетом перечисленных факторов.

Поскольку условия работы ЗТМ случайно меняются в широком диапазоне, проблема теоретически обоснованного автоматического выбора поддерживаемых значений параметров тягового режима ЗТМ остается открытой.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование оптимального задающего воздействия системы управления тяговым режимом с учетом стохастического характера показателей рабочего процесса и динамики машины.

В работе предложен метод формирования задающего воздействия для системы автоматического управления рабочим органом (РО) тяжелого автогрейдера. Система должна поддерживать заданное значение силы сопротивления копания (горизонтальной составляющей) на рабочем органе. Оптимизация задающего воздействия осуществляется по критерию максимальной технической производительности автогрейдера в режиме копания грунта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предложен метод оптимальной настройки системы автоматического управления тяговым режимом автогрейдера. Согласно этому методу, оптимальное задающее воздействие (поддерживаемое значение силы сопротивления копания) формируется на основе информации о характеристиках сигналов – измеренных значений силы сопротивления копания и коэффициента буксования движителей во время предыдущего рабочего прохода автогрейдера.

Общая структура исследования включает в себя решение следующих задач:

- разработка структуры системы управления отвалом автогрейдера, содержащей формирователь задающего воздействия;
- обоснование характеристики сигнала буксования, используемой в целях управления;
- разработка алгоритма формирования задающего воздействия микропроцессорным управляющим устройством;
- программная реализация имитационной модели тягового режима автогрейдера и проведение вычислительного эксперимента;
- разработка алгоритма формирования массива оптимальных значений задающего воздействия на основе результатов вычислительного эксперимента;

- получение зависимости оптимального задающего воздействия от характеристик сигналов, поступающих в управляющее устройство.

Разработанная структура системы управления (рисунок 1) содержит управляющее устройство (УУ) и объект управления (ОУ). Управляемой величиной, зависящей от времени t , является сила сопротивления копанию на рабочем органе автогрейдера $P(t)$, измеренная в шарнире крепления тяговой рамы к основной раме машины.

ОУ представляет собой рабочий процесс автогрейдера, включающий подпроцессы взаимодействия отвала и движителей с грунтом, функционирования силовой установки, трансмиссии, гидропривода рабочего органа. Дополнительным выходным информационным сигналом ОУ является коэффициент буксования $\delta(t)$. Возмущающие воздействия на ОУ включают в себя влияние координат профиля необработанной грунтовой поверхности на координаты отвала и глубину копания, а также неоднородность разрабатываемого грунта, вызывающую случайные колебания $P(t)$.

Бортовое микропроцессорное УУ реализует закон управления по отклонению. При отклонении измеренного значения управляемой величины $P(t)$ от заданного значения $P_{\text{опт}}$ регулятор формирует на выходе сигнал $c(t)$ включения электрогидравлических распределителей гидроцилиндров подъема-опускания отвала. Исследования выполнены для регулятора релейного типа с зоной нечувствительности [19]. Оптимизация задающего воздействия $P_{\text{опт}}$ выполняется в формирователе задающего воздействия (ФЗВ) в составе УУ. Вычисление значений задающего воздействия $P_{\text{опт}}$ перед

новым рабочим проходом автогрейдера выполняется на основе информации о характеристиках сигналов $P(t)$ и $\delta(t)$, измеренных во время предыдущего рабочего прохода при помощи датчиков, входящих в состав ОУ.

Сигнал коэффициента буксования $\delta(t)$ при физической реализации системы может быть заменен парой сигналов действительной $v(t)$ и теоретической $v_t(t)$ скоростей автогрейдера [15]. Вычисление мгновенных значений коэффициента буксования [17] может быть выполнено программно в ФЗВ по формуле $\delta(t) = (v_m(t) - v(t)) / v_m(t)$.

Буксование колесных движителей в динамике зависит от силы тяги, силы сопротивления $P(t)$, грунтовых условий, существенно влияет на действительную скорость машины $v(t)$ и на техническую производительность Π_m . Анализ экспериментальных значений коэффициента буксования $\delta(t)$ [20] показал, что для всей длительности рабочего прохода автогрейдера не всегда возможно построить адекватную функциональную зависимость $\delta(P)$ из-за изменяющихся свойств опорной грунтовой поверхности. Во время движения встречаются участки грунтовой поверхности, на которых движители «срываются» в режим повышенного буксования при относительно небольших значениях $P(t)$. Доля таких участков в общей длительности рабочих проходов влияет на скорость и производительность автогрейдера. Мы предлагаем учитывать это явление с помощью показателя рабочего процесса «доля времени повышенного буксования».

На рисунке 2а приведен экспериментально измеренный сигнал – коэффициент буксования $\delta(t)$ движителей тяжелого автогрейдера с механической трансмиссией [20]. Длительность

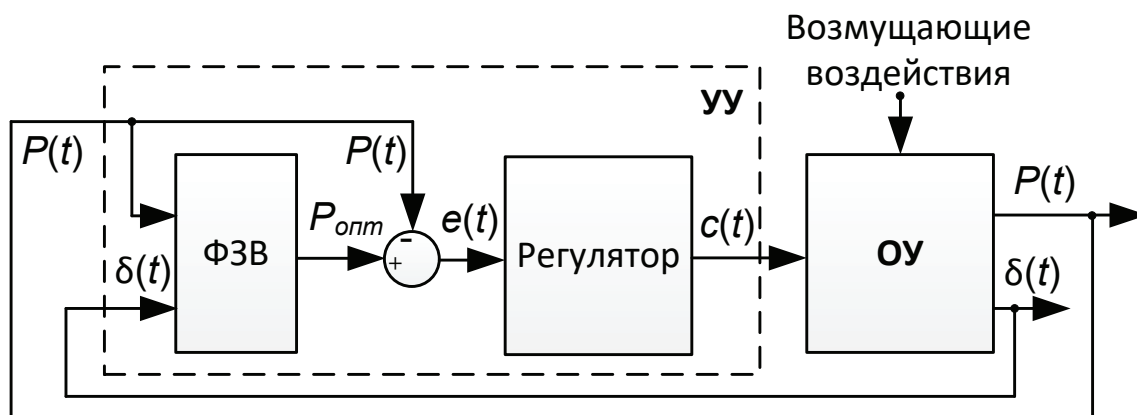


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления тяговым режимом автогрейдера

Figure 1 – Functional diagram of the motor grader's control system

Источник: составлено авторами

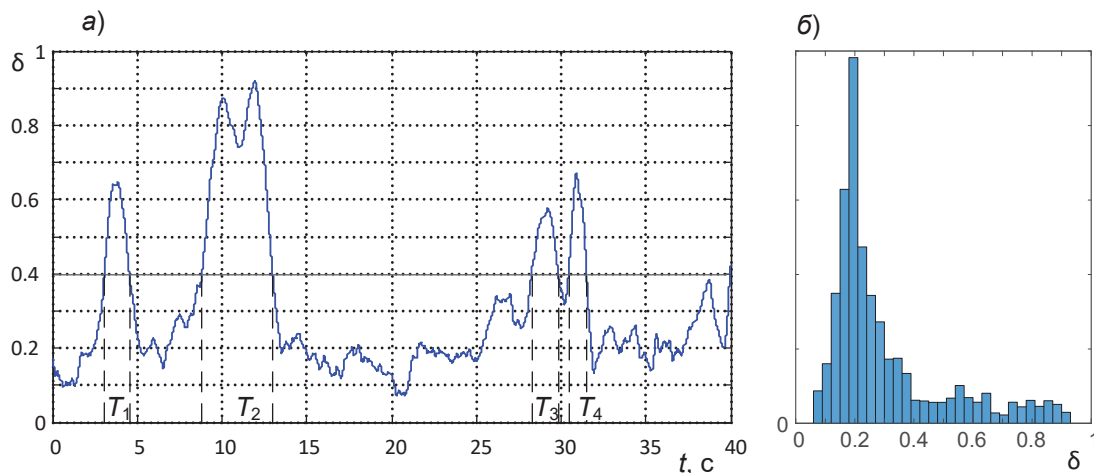


Рисунок 2 – Анализ коэффициента буксования

Figure 2 – Slip ratio analysis

Источник: составлено авторами

сигнала $T_s=40$ с соответствует длительности установившегося случайного процесса $P(t)$, близкого к стационарному с математическим ожиданием $M\{P\}=112,5$ кН и среднеквадратическим отклонением $\sigma\{P\}=12,4$ кН. На рисунке 2а видны участки, на которых резкое возрастание $\delta(t)$ не вызвано возрастанием $P(t)$ и не соответствует функциональной зависимости $\delta(P)$.

Анализ гистограммы частот на рисунке 2б показывает, что большинство наблюдений δ попадает в диапазон $0,075 < \delta < 0,4$, и наибольшее значение частот находится вблизи $\delta=0,2$, что согласуется с положениями теории колесных ЗТМ [17]. Поэтому значения $\delta > 0,4$ для исследуемого режима соответствуют повышенному буксованию. На рисунке 2а в интервалах времени T_1 , T_2 , T_3 и T_4 наблюдается повыше-

ние буксования δ и падение действительной скорости машины v . Обозначим долю времени повышенного буксования

$$K_\delta = (\sum_i T_i) / T_s; \quad 0 \leq K_\delta \leq 1. \quad (1)$$

Эта характеристика сигнала коэффициента буксования используется в УУ для обоснования значения поддерживаемой силы сопротивления на отвале автогрейдера.

Формирователь задающего воздействия (ФЗВ) в составе микропроцессорного УУ содержит блок запоминания сигналов (рисунок 3). От оператора автогрейдера перед началом рабочего прохода поступает команда, инициирующая запоминание оцифрованных сигналов $P(t)$ и $\delta(t)$. Команда начала записи

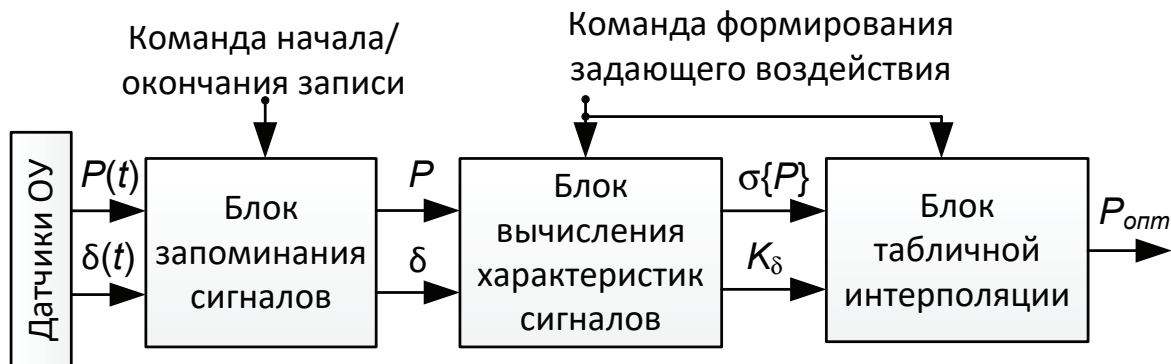


Рисунок 3 – Функциональная схема формирователя задающего воздействия

Figure 3 – Functional diagram of the setpoint former

Источник: составлено авторами

также может быть сформирована в УУ автоматически при превышении пороговых значений измеряемых сигналов $P(t)$ и $v(t)$ во время рабочего прохода. Окончание процесса записи сигналов производится либо по команде оператора, либо при выглублении отвала и остановке автогрейдера (при достижении пороговых значений P и v).

По команде формирования задающего воздействия перед началом рабочего прохода (она может быть совмещена с командой, инициирующей окончание записи сигналов), в ФЗВ выполняется следующий алгоритм.

1. Анализ записанного сигнала $P(t)$, выявление участков установившегося процесса, близкого к стационарному.
2. Определение длительности T_s установившегося случайного процесса $P(t)$.
3. Вычисление среднеквадратического отклонения $\sigma\{P\}$ силы сопротивления копанию.
4. Вычисление значений $\delta(t)$, если вместо сигнала $\delta(t)$ в блок запоминания поступают сигналы теоретической и действительной скоростей $v_m(t)$ и $v(t)$.
5. Анализ $\delta(t)$ на временном интервале T_s . Выявление интервалов T_i с повышенным буксованием.
6. Расчет доли времени повышенного буксования K_δ в соответствии с (1).
7. Расчет оптимального значения задающего воздействия с помощью линейной двумерной табличной интерполяции зависимости $P_{\text{опт}}(\sigma\{P\}, K_\delta)$.

Шаги алгоритма 1–6 выполняются в блоке вычисления характеристик сигналов, шаг 7 – в блоке табличной интерполяции.

Зависимость $P_{\text{опт}}(\sigma\{P\}, K_\delta)$, используемая на шаге 7, получена на основе моделирования процесса управления тяговым режимом автогрейдера. Разработана имитационная модель, предназначенная для проведения вычислительных экспериментов. Модель использована для определения зависимостей между параметрами регулятора, машины, показателями рабочего процесса и критерием оптимальности – технической производительностью автогрейдера Π_m (объем грунта, сошедшего с отвала за единицу времени).

Имитационная модель процесса управления тяговым режимом автогрейдера, программно реализованная в MATLAB/Simulink [16], содержит модели ОУ, УУ, а также модель формирования возмущающих воздействий (рисунок 4). В ходе вычислительного эксперимента оценивалось влияние изменяемых параметров (обведены кружками на схеме) возмущений, УУ и ОУ на величину технической производительности автогрейдера Π_m (критерий оптимальности настройки УУ) и на статистические характеристики управляемой величины $P(t)$: математическое ожидание $M\{P\}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma\{P\}$ силы сопротивления копанию.

Перед каждым прогоном модели варьировались значения параметров УУ: ширина зоны нечувствительности Δ релейного звена в со-

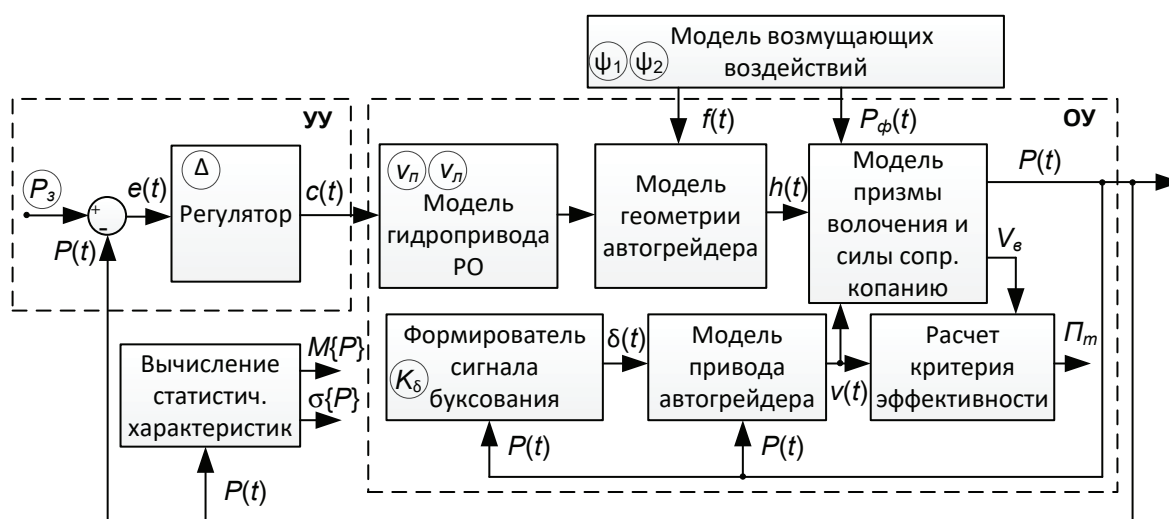


Рисунок 4 – Схема имитационной модели процесса управления

Figure 4 – Diagram of the control process' simulation model

Источник: составлено авторами

ставе регулятора (пороговое значение ошибки регулирования $e(t)$, при котором не формируется сигнал подъема/опускания отвала, т.е. $s(t)=0$ при $|e(t)| < \Delta$), а также заданное значение силы сопротивления копанью P_3 (задающее воздействие). При корректной настройке регулятора и параметров ОУ (отсутствие автоколебаний) математическое ожидание управляемой величины $M\{P\} \approx P_3$.

Варьируемые параметры возмущающих воздействий – это коэффициенты вариации ψ_1 и ψ_2 , влияющие на среднеквадратические отклонения генерируемых случайных сигналов – высотных координат профиля необработанной грунтовой поверхности и координаты $f(t)$ крепления переднего моста автогрейдера, а также на флуктуации $P_\phi(t)$ силы сопротивления копанью, обусловленные неоднородностью разрабатываемого грунта.

Изменяемыми параметрами ОУ являются скорости подъема/опускания правой и левой сторон отвала v_n и $v_{n'}$. Эти параметры влияют на глубину копания $h(t)$ и объем разработанного грунта V_g .

Во время прогона имитационной модели формируется сигнал буксования $\delta(t)$ на основе таблично заданной функциональной зависимости $\delta(P)$. В генерируемый сигнал $\delta(t)$ добавляются участки повышенного буксования в соответствии с варьируемым значением параметра K_δ .

Модель содержит значительное количество допущений [16]. Точность моделей формирования $P(t)$ и $v(t)$, входящих в состав модели ОУ, оценена на основе результатов экспериментальных исследований [20]. Полный перебор всех возможных комбинаций значений варьируемых параметров модели нецелесообразен: вариации параметров возмущений, регулятора и ОУ оказывают наибольшее влияние на флуктуации управляемой величины и на среднеквадратическое отклонение $\sigma\{P\}$ силы сопротивления копанью, которая, в свою очередь, влияет на производительность. При различных комбинациях параметров модели можно получить близкие значения $\sigma\{P\}$ и Π_m . Для практической реализации системы управления необходимо сократить количество измеряемых сигналов и снизить размерность про-

странства параметров процесса управления.

В результате имитационного моделирования множеству значений варьируемых параметров процесса управления Δ , P_3 , v_n , $v_{n'}$, ψ_1 , ψ_2 и K_δ ставится в соответствие множество значений $M\{P\}$, $\sigma\{P\}$ и Π_m . Параметры УУ, гидропривода и возмущений Δ , P_3 , v_n , $v_{n'}$, ψ_1 , ψ_2 оказывают воздействие на динамику системы и на статистические характеристики $M\{P\}$ и $\sigma\{P\}$. Параметр K_δ влияет в основном на действительную скорость машины $v(t)$. Поэтому для снижения размерности пространства параметров процесса управления далее исследована зависимость критерия оптимальности управления $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\}, K_\delta)$.

Оптимальные значения задающего воздействия системы управления являются решениями задачи оптимизации:

$$P_{onm} = \arg \max_{M\{P\}} \Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\}, K_\delta). \quad (2)$$

Для решения задачи оптимизации необходимо исследовать зависимости $\Pi_m(M\{P\})$ при фиксированных значениях $\sigma\{P\}$ и K_δ . В результате имитационного моделирования получены дискретные значения Π_m , количество которых равно количеству прогонов модели. Для исследования целевой функции при произвольных значениях $M\{P\}$, $\sigma\{P\}$ и K_δ необходима интерполяция $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\}, K_\delta)$.

В ходе имитационного моделирования задаваемые значения параметра процесса K_δ варьировались в диапазоне $0 \dots 0,4$ с шагом $0,1$. Математическое ожидание управляемой величины $M\{P\}$ практически совпадает с заданным значением P_3 , которое варьировалось в диапазоне $80000 \dots 145000$ Н с шагом 10000 Н. Значения $\sigma\{P\}$ – это результаты прогонов модели, поэтому шаг между значениями $\sigma\{P\}$ является случайным. Поскольку в результате вычислительного эксперимента получены дискретные значения Π_m , необходима интерполяция зависимости $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\})$ при фиксированных значениях K_δ .

Для интерполяции получены полиномиальные зависимости $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\})$. В частности, при фиксированном значении $K_\delta = 0$ использован аппроксимирующий полином:

$$\begin{aligned} \Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\}) = & 3299 - 0,0986 \cdot M\{P\} + 0,06767 \cdot \sigma\{P\} + 1,117 \cdot 10^{-6} \cdot M^2\{P\} - \\ & - 5,146 \cdot 10^{-7} \cdot M\{P\} \cdot \sigma\{P\} - 3,318 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma^2\{P\} - 3,786 \cdot 10^{-12} \cdot M^3\{P\} - \\ & - 1,958 \cdot 10^{-12} \cdot M^2\{P\} \cdot \sigma\{P\} + 3,274 \cdot 10^{-11} \cdot M\{P\} \cdot \sigma^2\{P\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Нормированный коэффициент детерминации $\bar{R}^2 = 0,94$ и визуальный анализ графиков показывают высокую точность аппроксимации. Далее вместо значений Π_m , полученных в результате вычислительного эксперимента, используются аппроксимированные значения.

Процедура выбора оптимальных значений задающего воздействия показана на рисунке 5. При фиксированных значениях K_δ и $\sigma\{P\}$ по формуле (3) строятся графики зависимости $\Pi_m(M\{P\})$, и каждому графику ставится в соответствие оптимальное значение $M\{P\}$ по критерию максимальной производительности (т.е. находится решение задачи (2)). Таким образом формируется массив оптимальных значений P_{opt} , зависящих от $\sigma\{P\}$ и K_δ . При малом шаге изменения $M\{P\}$ решение задачи

оптимизации может быть найдено перебором дискретных значений Π_m .

Формирование массива оптимальных значений задающего воздействия P_{opt} , используемого в блоке табличной интерполяции ФЗВ, выполнено в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Задать значения параметров имитационной модели, варьируемых в заранее определенных диапазонах и с определенным шагом: $\Delta, P_3, \psi_1, \psi_2, v_n, v_n$.

2. Задать значение доли времени повышенного буксования K_δ .

3. Выполнить прогон модели, сохранить результаты (значения моделируемых показателей процесса). Определить отсутствие автоколебаний в системе управления.

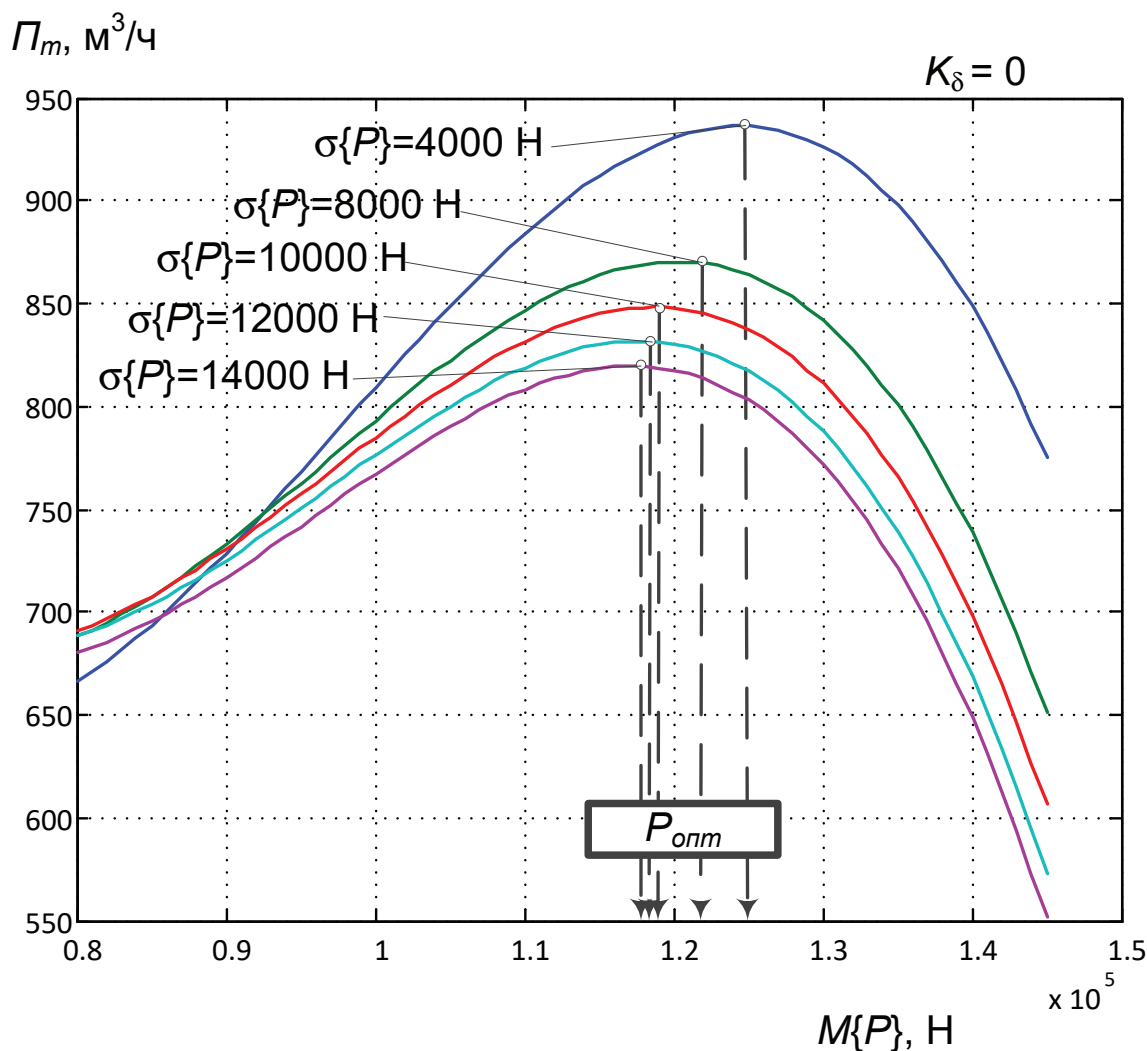


Рисунок 5 – Выбор оптимального задающего воздействия

Figure 5 – Selection of the optimal setpoint

Источник: составлено авторами

4. Вычислить и записать в массив полученные значения $M\{P\}$, $\sigma\{P\}$, Π_m . Шаги 1–4 повторяются до завершения вычислительного эксперимента.

5. Задать фиксированное значение K_δ .

6. Построить аппроксимирующий полином 2–3 порядка для зависимости $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\})$ по аналогии с выражением (3).

7. Задать фиксированное значение $\sigma\{P\}$.

8. Изменяя $M\{P\}$, построить график аппроксимирующей зависимости $\Pi_m(M\{P\}, \sigma\{P\})$ по аналогии с рисунком 5. Шаги 7 и 8 повторяются для всех варьируемых значений $\sigma\{P\}$ при фиксированном K_δ .

9. Найти оптимальные значения математического ожидания силы сопротивления копания (рисунок 5), записать в двумерный массив значения $P_{\text{опт}}$. Шаги 5–9 повторяются до получения всех комбинаций значений ($K_\delta, \sigma\{P\}$), варьируемых с заданным шагом, и соответствующих значений $P_{\text{опт}}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результат формирования массива оптимальных значений задающего воздействия

$P_{\text{опт}}$ показан на рисунке 6. Эта зависимость используется как справочная таблица в блоке табличной интерполяции ФЗВ (рисунок 3) следующим образом. По конкретным значениям характеристик $\sigma\{P\}$ и K_δ , полученным в результате измерения и обработки показателей предыдущего рабочего прохода автогрейдера, при помощи линейной табличной интерполяции вычисляется значение $P_{\text{опт}}$, соответствующее точке на поверхности (рисунок 6). Это оптимальное значение силы сопротивления копания, которое должно поддерживаться системой управления отвалом (рисунок 1) во время следующего рабочего прохода для максимизации технической производительности автогрейдера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе выполнено теоретическое обоснование оптимального задающего воздействия системы управления тяговым режимом автогрейдера, и предложен метод настройки системы автоматического управления отвалом тяжелого автогрейдера в режиме копания грунта.

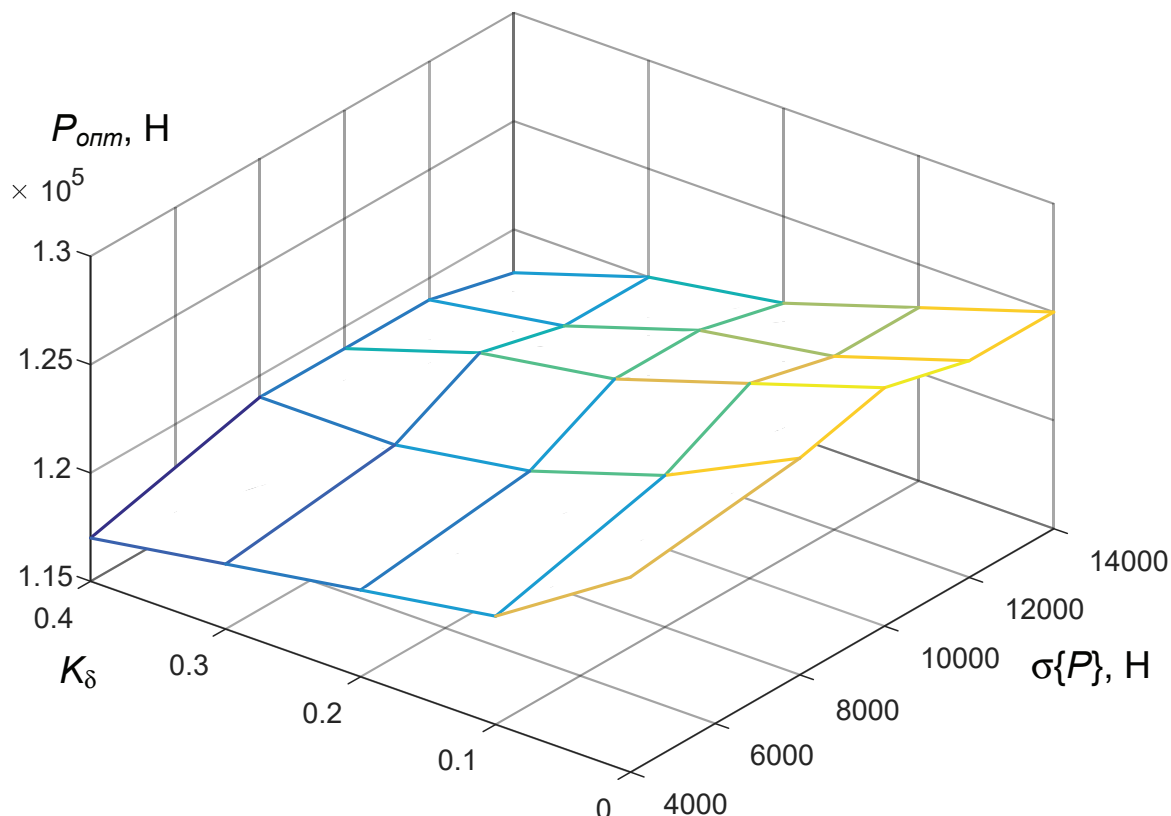


Рисунок 6 – Зависимость оптимального задающего воздействия от среднеквадратического отклонения силы сопротивления копания и доли времени повышенного буксования

Figure 6 – Dependence of the optimal setpoint on standard deviation of digging force and on excessive slippage time ratio

Источник: составлено авторами

Отличительными особенностями предложенного метода являются:

- оптимальное управление по критерию технической производительности автогрейдера;
- учет динамики и стохастического характера процессов с помощью имитационной модели, использование среднеквадратического отклонения измеренной силы сопротивления копания для настройки системы;
- учет наличия участков грунтовой поверхности с повышенным буксованием колесных движителей и использование вычисленной доли времени повышенного буксования для настройки системы.

Теоретическое обоснование значений оптимального задающего воздействия получено в результате имитационного моделирования тягового режима автогрейдера, полиномиальной аппроксимации зависимостей между моделируемыми показателями процесса, а также решения задачи оптимизации математического ожидания силы сопротивления копания.

Предложена структура системы управления, включающая микропроцессорное управляющее устройство, и алгоритм функционирования формирователя оптимального управляющего воздействия.

Предложен метод оптимальной настройки системы автоматического управления тяговым режимом автогрейдера. Согласно этому методу, оптимальное задающее воздействие (поддерживаемое значение силы сопротивления копания) формируется на основе информации о характеристиках сигналов – измеренных значений силы сопротивления копания и коэффициента буксования движителей во время предыдущего рабочего прохода автогрейдера.

Результаты исследований могут быть использованы в качестве рекомендуемого подхода к разработке и настройке бортовых микропроцессорных систем индикации и управления тяговыми режимами ЗТМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ito N. Bulldozer Blade Control. *Journal of Terramechanics*, 1991, Vol. 28, No. 1, pp. 65–78. DOI: 10.1016/0022-4898(91)90007-S
2. Bulgakov A., Emelianov S., Bock T. and Tokmakov G. Adaptive control of bulldozer's workflows. *Proc. of the 33rd ISARC* (Auburn, AL, USA). 2016, pp. 90–97. DOI: 10.22260/ISARC2016/0012
3. Nakagami H., Ozaki T., Kure K. Introduction of Bulldozers D155AX-8/AXi-8 // *Komatsu Technical Report*, 2014, Vol. 60, No. 167, 7 pp.

Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/167-E06.pdf>, свободный (дата обращения: 17.08.2018).

4. Денисов В.П. Оптимизация рабочего процесса землеройно-транспортных машин с учетом случайного характера нагрузок: монография. Омск: СибАДИ, 2005. 123 с.

5. Бузин Ю.М. О некорректности в подходе к определению производительности землеройно-транспортной машины и построению на ее основе системы автоматического управления рабочим органом // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009. № 5 (605). С. 80–83.

6. Денисов В.П., Матяш И.И., Зубарев К.В. Исследование влияния конструктивных параметров рабочего органа автогрейдера на его производительность // *Вестник СибАДИ*. 2015. № 2 (42). С. 15–19.

7. Никулин П.И., Бузин Ю.М. Анализ методов управления процессом копания грунта землеройно-транспортных машин // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2003. № 11 (539). С. 95–99.

8. Жулай В.А., Тюнин В.Л., Крестников А.В. Оценка топливной экономичности самоходных колесных землеройно-транспортных машин // *Механизация строительства*. 2016. Т. 77. № 8. С. 27–31.

9. Клец Д. М., Краснокутский М.В., Гацько В.И., Барун М.В. Моделирование рабочих процессов двигателя автогрейдера при работе с неустановившейся нагрузкой // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2017. Т. 4. № 7 (88). DOI: 10.15587/1729-4061.2017.107128

10. Zhao R. Y. and Wang X. Research on power adaptive control method for hydraulic motor grader based on Simulink/AMESim. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, vols. 135–136, pp. 793–799. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.135-136.793

11. Ye M. and Lin T. Energy conservation for a motor grader by shifting the engine power curve based on fuzzy adaptive control. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015, vol. 7, issue 4. pp. 1–13. DOI: 10.1177/1687814015582116

12. Song Q., Wand W. and Jia C. Research on fuel consumption of hybrid bulldozer under typical duty cycle. *The 2015 Int. Conf. on Mechanical Engineering and Control Systems (MECS2015)*, 2016, pp. 54–57. DOI:10.1142/9789814740616_0012

13. Steckelberg D. and Pacifico A. A methodology for measuring an internal combustion engine performance map using on-board acquisition. *23rd ABCM Int. Congress of*

Mechanical Engineering (Rio de Janeiro, Brazil), 2015. 173 p. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/312577762>, свободный (дата обращения: 17.08.2018).

14. Жулай В.А., Енин В.И., Крестников А.В. Математическое описание скоростных характеристик двигателей строительных и дорожных машин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2011. № 1. С. 196–200.

15. Hayashi K., Shimada K. et al. Development of D61EXi/PXi-23 bulldozer with automatic control system of work equipment // Komatsu Technical Report, 2013, Vol. 59, No. 166, 8 pp. Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/166-E02.pdf>, свободный (дата обращения: 17.08.2018).

16. Мещеряков В.А. Нейросетевое адаптивное управление тяговыми режимами землеройно-транспортных машин: монография. Омск: ОмГТУ, 2007. 219 с.

17. Ульянов Н.А. и др. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.

18. Жулай В.А., Енин В.И., Кожакин Е.В. Зависимость буксования колесного движителя от силы тяги // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. С. 44–45.

19. Денисов В.П., Мещеряков В.А. Исследование системы автоматического управления скоростью автогрейдера // Строительные и дорожные машины. 2003. № 5. С. 39–41. EID: 2-s2.0-0038691599

20. Мещеряков В.А., Вебер В.В. Методика обработки результатов экспериментальных исследований тягового режима автогрейдера // Вестник СибАДИ. 2012. № 4 (26). С. 14–19.

REFERENCES

1. Ito N. Bulldozer Blade Control. *Journal of Terramechanics*, 1991, Vol. 28, No. 1, pp. 65-78. DOI: 10.1016/0022-4898(91)90007-S

2. Bulgakov A., Emelianov S., Bock T. and Tokmakov G. Adaptive control of bulldozer's workflows. *Proc. of the 33rd ISARC* (Auburn, AL, USA), 2016, pp. 90-97. DOI: 10.22260/ISARC2016/0012

3. Nakagami H., Ozaki T., Kure K. Introduction of Bulldozers D155AX-8/AXi-8. *Komatsu Technical Report*, 2014, Vol. 60, No. 167, 7 pp. Access mode: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/167-E06.pdf>, free (application date: 17.08.2018).

4. Denisov V.P. *Optimizatsiya rabochego protsessa zemleroyno-transportnykh mashin* [Earthmoving machinery workflow optimization with a glance of stochastic loads]. Omsk, SibADI, 2005, 123 p.

5. Buzin Yu. M. O nekorrektnosti v podkhode k opredeleniyu proizvoditelnosti zemleroyno-transportnoy mashiny i postroeniyu na ee osnove sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabochim organom [About inconsistency in the way of an earthmover production rate calculation and synthesis of the automatic control system of the working equipment]. *Izvestiya vyshikh uchebnich zavedeniy. Storitelstvo*, 2009, no 5 (605), pp. 80-83.

6. Denisov V.P., Matyash I.I., Zubarev K.V. Issledovanie vliyaniya konstruktivnykh parametrov rabochego organa avtogreydera na ego proizvoditelnost [Research of the constructive parameters influence of the motor grader working equipment on its performance]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 2 (42), pp. 15-19.

7. Nikulin P.I., Buzin Yu.M. Analiz metodov upravleniya processom kopaniya grunta zemleroyno-transportnykh mashin [Analysis of the control methods for digging process of earthmoving machinery]. *Izvestiya vyshikh uchebnich zavedeniy. Storitelstvo*, 2003, no 11 (539), pp. 95-99.

8. Zhulai V.A., Tyunin V.L. and Krestnikov A.V. Otsenka toplivnoy ekonomichnosti samokhodnykh kolesnykh zemleroyno-transportnykh mashin [Fuel economy estimation for self-powered wheeled earthmoving machinery]. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2016, Vol. 77, no 8, pp. 27-31.

9. Kleis D., Krasnokutsky M., Hatsko V. and Barun M. Modeling of operation processes of a motor grader engine during work under unsteady load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, vol. 4, no 7 (88). DOI: 10.15587/1729-4061.2017.107128

10. Zhao R. Y. and Wang X. Research on power adaptive control method for hydraulic motor grader based on Simulink/AMESim. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, vols. 135-136, pp. 793-799. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.135-136.793

11. Ye M. and Lin T. Energy conservation for a motor grader by shifting the engine power curve based on fuzzy adaptive control. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015, vol. 7, issue 4, pp. 1-13. DOI: 10.1177/1687814015582116

12. Song Q., Wand W. and Jia C. Research on fuel consumption of hybrid bulldozer under typical duty cycle. *The 2015 Int. Conf. on Mechanical Engineering and Control Systems (MECS2015)*, 2016, pp. 54-57. DOI: 10.1142/9789814740616_0012

13. Steckelberg D. and Pacifico A.A methodology for measuring an internal combustion engine performance map using on-board acquisition. 23rd ABCM Int. Congress of Mechanical Engineering (Rio de Janeiro, Brazil), 2015. 173 p. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/312577762>, free (application date : 17.08.2018).

14. Zhulai V.A., Yenin V.I. and Krestnikov A.V. Matematicheskoe opisanie skorostnykh kharakteristik dvigateley stroitel'nykh i dorozhnykh mashin [Mathematical description of speed characteristics of the building and road machines' engines]. *Nauchny Vestnik VGASU*, 2011, vol. 1, pp. 196-200.

15. Hayashi K., Shimada K. et al. Development of D61EXi/PXi-23 bulldozer with automatic control system of work equipment. *Komatsu Technical Report*, 2013, Vol. 59, no 166, 8 pp. Access mode : <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/166-E02.pdf>, free (application date : 17.08.2018).

16. Meshcheryakov V.A. *Neural network based adaptive control of earthmoving machinery workflows*. Omsk: OmGTU, 2007, 219 p.

17. Ulyanov N.A. et al. *Samokhodnye kolesnye zemleroyno-transportnye mashiny [Self-powered wheeled earthmoving machinery]*. M.: Mashinostroenie, 1982. 280 p.

18. Zhulai V.A., Yenin V.I. and Kozhakin E.V. Zavisimost buksovaniya kolesnogo dvizhitelya ot sily tyagi [Dependence of the wheel slippage on the draft force]. *Traktory i selkhoz mashiny*, 2015, no 1, pp. 44-45.

19. Denisov V.P., Meshcheryakov V.A. Issledovanie sistemy avtomaticheskogo upravleniya skorostyu avtogreydera [A study of the automatic motor-grader speed control system]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2003, no 5, pp. 39-41. EID: 2-s2.0-0038691599

20. Meshcheryakov V.A. and Weber V.V. Metodika obrabotki rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy tyagovogo rezhima avtogreydera [Methods of processing of the experimental investigation results of the motor grader traction mode]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 4 (26), pp. 14-19.

Поступила 20.07.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мещеряков Виталий Александрович – доктор технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-9913-2078, Scopus Author ID 7006700218, ResearcherID H-2077-2016, ФГБОУ ВО «СибАДИ», проректор по информационным технологиям, профессор кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» (644080, г. Омск, пр. Мира 5, meshcheryakov_va@sibadi.org).

Вебер Виталий Викторович – старший преподаватель кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5, veber_vv@sibadi.org).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Meshcheryakov Vitalii – doctor of technical science, ORCID 0000-0001-9913-2078, Scopus Author ID 7006700218, ResearcherID H-2077-2016, Vice Rector of Information Technologies, Professor of the Department "Machinery for Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures", Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., meshcheryakov_va@sibadi.org).

Weber Vitalii – Senior Lecturer of the Department "Machinery for Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures", Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., veber_vv@sibadi.org).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Мещеряков В.А.: постановка задачи, разработка общей структуры системы, структуры моделей подсистем объекта управления.

Вебер В.В.: реализация моделей, получение результатов вычислительного эксперимента и анализ зависимостей, оптимальная настройка модели управляющего устройства.

AUTHORS CONTRIBUTION

Meshcheryakov V. problem statement, development of the general system structure and sub-models structures of the controlled object.

Weber V. models realization, process simulation and results analysis, optimal tuning of the control unit model.

УДК 62-:658.589

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АЛГОРИТМА САМОНАСТРОЙКИ ПРИБОРА ОГРАНИЧИТЕЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ОГШ ДЛЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ

В.А. Рошин¹, С.Д. Иванов², Н.Л. Михальчик²

¹ ЗАО «Инженерно-Технический Центр «КРОС», г. Ивантеевка,
Россия ² МГТУ им Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящей статье описывается разработанная авторами математическая расчетная модель самонастройки прибора безопасности мостовых кранов типа ограничителя грузоподъемности широкого применения (ОГШ) с целью уменьшения времени настройки прибора и иных материальных и трудовых затрат для выполнения требований Федеральных норм и Правил (ФНП) по защите мостовых кранов от перегруза.

Материалы и методы. Для расчетной модели программы определены массодинамические характеристики крана (приведена масса привода, момент инерции, жесткость подвески, время отклика и пр.), обоснованы этапы подъема груза, на которых действуют совершенно различные динамические нагрузки и которые описываются системами дифференциальных уравнений с разными начальными и краевыми условиями. Используются численные методы для решения систем дифференциальных уравнений с использованием экспериментальных данных.

Результаты. Введены и обоснованы допущения и краевые условия в расчетной модели самонастройки прибора ОГШ для практического применения в разработке и конструировании данного типа приборов. Реализован расчетный алгоритм, и прибор ОГШ запрограммирован в соответствии с расчетным алгоритмом. Проведены натурные эксперименты и испытания с прибором ОГШ с разработанным алгоритмом самонастройки.

Результаты экспериментов подтвердили возможность применения алгоритма самонастройки прибора ограничителя грузоподъемности ОГШ для получения необходимых на данном кране параметров работы и выполнения требований ФНП при работе мостового крана.

Обсуждение и заключение. Указанный в статье алгоритм программы самонастройки прибора безопасности (ПБ) ограничителя грузоподъемности обеспечил выполнение требований ФНП, сокращение времени настройки прибора, большее удобство и простоту настройки ПБ ОГШ, снижение динамических нагрузок на привод. Данный алгоритм будет рекомендован к применению во всех новых ПБ ОГШ, производимых ИТЦ КРОС для мостовых кранов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прибор безопасности ОГШ, защита мостового крана от перегруза, пороги срабатывания ограничителя, динамические характеристики крана, двухмассовая система «кран-груз» начальные условия, алгоритм самонастройки прибора, время отклика, запас по нагрузке, снижение динамических нагрузок.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э.Баумана и генеральному директору ЗАО ИТЦ «КРОС» В.А. Потапову за их помощь в проведении экспериментов, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

© В.А. Рошин, С.Д. Иванов, Н.Л. Михальчик



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SELF-ADJUSTMENT ALGORITHM OF THE OGSH LOAD LIMITER FOR BRIDGE CRANES

V.A. Roshchin¹, S.D. Ivanov², N.L. Mikhalechik²

¹Engineering and Technical Center "KROS", Ivanteevka, Russia

²Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The mathematical self-adjustment model of the safety device for bridge cranes, which is developed by the authors as the limiter of loading capacity of broad application (OGSh) for the purpose of time reduction for device setup and of other material and labor inputs for requirements implementation of the Federal Norms and Rules (FNP) on protection of bridge cranes against overload, is described in the article.*

Materials and methods. *Mass and dynamic characteristics of the crane (the specified mass of the drive, the inertia moment, rigidity of a pendant, response time and etc.); various stages of the loads lifting, on which absolutely various dynamic loadings impact and which are described by the systems of the differential equations with various entry and regional conditions, were proved in the research. Numerical methods for the solution of the differential equations systems with the usage of experimental data were also applied.*

Results. *Assumptions and regional conditions in settlement model of self-adjustment of the OGSh device for practical application in development and designing of this type of devices are used and proved. Moreover, the settlement algorithm is realized and the OGSh device is programmed according to such settlement algorithm. Natural experiments and tests with the OGSh device on the developed self-adjustment algorithm are made.*

Thus, the results of experiments have confirmed the possibility of the algorithm application of self-adjustment model as the limiter of the OGSh loading capacity for obtaining work parameters and implementation of FNP requirements, which are necessary for such crane during the operation.

Discussion and conclusion. *The algorithm of the self-adjustment model of the safety device (SD) as the limiter of loading capacity provides the implementation of the FNP requirements, the reduction of time of the device setup, bigger convenience and simplicity of SD control on the OGSh; decrease in dynamic loads of the drive. Therefore, such algorithm would be recommended for application in all new SD of the OGSh made by ITTs KROS for bridge cranes.*

KEYWORDS: *Safety device of the OGSh, protection of the bridge crane against overload, thresholds of the limiter operation, dynamic characteristics of the crane, two-mass "crane-freight" system, algorithm of the device self-adjustment, response time, reservation on loading, decrease in dynamic loadings.*

ACKNOWLEDGEMENT

The authors of the article express their gratitude to the employees of the Lifting and Transport Systems Department of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman and to the General Director of the Engineering and Technical Center "KROS", V.A. Potapov for helping in experiments conduction, for advice, recommendations, valuable comments and criticism.

© V.A. Roshchin, S.D. Ivanov, N.L. Mikhalechik



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно требованиям ФНП¹ подъемные краны оснащаются ограничителями грузоподъемности. Задача такого прибора безопасности (ПБ) – обеспечить подъем номинального груза и не допустить отрыва от основания груза, составляющего 125% от номинального. Приборы различных фирм-производителей² основаны на разных алгоритмах определения «перегрузки». Воздействие ПБ на работу крана заключается в подаче сигнала на исполнительные механизмы крана (электродвигатель подъема, тормоз и прочие) для подъема номинального груза и для остановки процесса подъема при массе груза свыше 125% номинального.

В данной статье рассмотрен принцип работы ограничителя грузоподъемности для мостовых кранов грузового типа ОГШ (производства ЗАО «ИТЦ «КРОС» (г. Ивантеевка Московской обл.) [1,2,3].

Ограничители грузоподъемности кранов мостового типа ОГШ предназначены для выполнения требований ФНП по защите крана от перегруза. Принцип работы прибора основан на кратковременном отключении двигателя механизма подъема крана при достижении нагрузкой установленного в ПБ ОГШ промежуточного порога срабатывания. В связи с тем что все краны различаются по своим динамическим характеристикам (приведенной массе привода, моментам инерции, реальной скорости подъема груза и прочим), при установке данного прибора необходимо произвести его точную настройку под конкретные динамические параметры каждого крана [4,5].

Как показали проведенные исследования [6], алгоритм, программно реализованный в ОГШ, вместе с выполнением требований ФНП по запрету подъема груза позволяет снизить динамические нагрузки на кран, что обеспечивает большее время эксплуатации и повышает безопасность работы крана.

Корректная настройка прибора безопасности для исключения ложных срабатываний, «демпфирования» колебательных динамических процессов при отрыве номинального груза и при его останове при перегрузе – весьма

трудоёмкий процесс, связанный со значительными временными, материальными и трудовыми затратами высококвалифицированного персонала. Для их сокращения был разработан модифицированный прибор ОГШ с функцией высокоточной записи сигналов с датчика нагрузки и разработана программа обработки полученных данных, на основе которых определяются оптимальные параметры настройки прибора под конкретный кран. На основании алгоритма программы, аппаратно-реализованного в приборе ОГШ, происходит самонастройка прибора под конкретный мостовой кран для обеспечения выполнения требований ФНП.

Настраиваемыми параметрами ПБ ограничителей нагрузки являются: предварительный порог срабатывания; время остановки двигателя; порог запрета по максимальной нагрузке; порог запрета по средней нагрузке; порог разрешения подъема; показания прибора при нулевой нагрузке «0»; показания прибора при номинальной нагрузке «1».

В актуальной разработанной версии прибора ОГШ с алгоритмом самонастройки порог запрета по средней нагрузке не работоспособен в связи со значительным повышением частоты опроса датчика нагрузки по сравнению со временем осреднения.

Данные параметры ПБ рассчитываются программой самонастройки на основе данных, полученных по нескольким (минимум двум) предварительным записям подъемов пустой крюковой подвески и груза известной массы, и ряда паспортных данных крана. На основании записанных данных при предварительных подъемах груза определяются:

- жесткость крана c ;
- время отклика системы на сигнал отключения $T_{откл}$;
- настройки «0» и «1», соответствующие пустой подвеске и номинальному грузу m_n ;
- реальная скорость подъема груза двигателем подъема крана.

Функция записи прибора ОГШ сохраняет в памяти прибора все значения нагрузки (в кодах аналогово-цифрового преобразователя АЦП) в течение 6,8 с с частотой опроса датчика 250 Гц.

¹ Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.11.2013 г. № 533. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-12112013-n-533-ob/> (дата обращения: 10.10. 2017)

² ООО «Арзамасский электромеханический завод. ОГРАНИЧИТЕЛИ НАГРУЗКИ для МОСТОВЫХ и КОЗЛОВЫХ кранов URL: <http://aemp.ru/stuff/12-onk-160m> (дата обращения: 05.06. 2018) / ЗАО ИТЦ «КРОС». Ограничители грузоподъемности. URL: <http://itc-kros.ru/category/ogranichiteli-gruzopodemnosti> (дата обращения: 05.06. 2018)

Алгоритм настройки ПБ ограничителя грузоподъемности ОГШ заключается:

1) Произвести запись подъема груза известной массы при заводских настройках 2 раза: без включения исполнительного реле ограничителя грузоподъемности в электрическую схему механизма подъема и с включенным исполнительным реле.

2) Внести в программу расчёта необходимые паспортные данные мостового крана (номинальную скорость подъема груза V_n), а также определенные на основании записей 2-х испытаний момент инерции J и тормозной момент двигателя M_T .

3) Программно рассчитать: период собственных колебаний системы T ; жесткость системы c и время отклика системы $T_{откл}$ по графикам без включения исполнительного реле ограничителя грузоподъемности в электрическую схему механизма подъема и с включенным исполнительным реле (рисунок 1).

4) Самонастройка прибора ОГШ согласно заданного разработанного программного алгоритма.

5) Произвести проверку рассчитанных алгоритмом программы порогов срабатывания прибора. Прибор должен предотвратить отрыв груза в 125% от номинального от основания и разрешить подъем номинального груза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программа расчёта параметров самонастройки ПБ ограничителя грузоподъемности ОГШ основана на использовании двухмассовой модели «кран-груз» с упругой связью. Соответственно масса m_1 - приведенная масса вращающихся частей привода крана, масса m_2 - масса груза.

Расчетная модель предполагает первоначальное определение массодинамических характеристик крана на основании двух предварительных подъемов -пустой крюковой подвески и груза известной массы и определения на их основе приведенной массы привода, жесткости подвески, время отклика, реальной средней скорости подъема.

Далее в алгоритме программы предусмотрены решения дифференциальных уравнений (ДУ) на различных этапах подъема груза до момента срабатывания тормоза двигателя подъема, сопряжение краевых условий на различных этапах и построение модели самонастройки прибора.

К таким этапам относятся: этап разгона привода и выработки зазоров; этап отключения привода; этап отрыва груза; этап свободных колебаний груза. На различных этапах подъема груза действуют совершенно различные

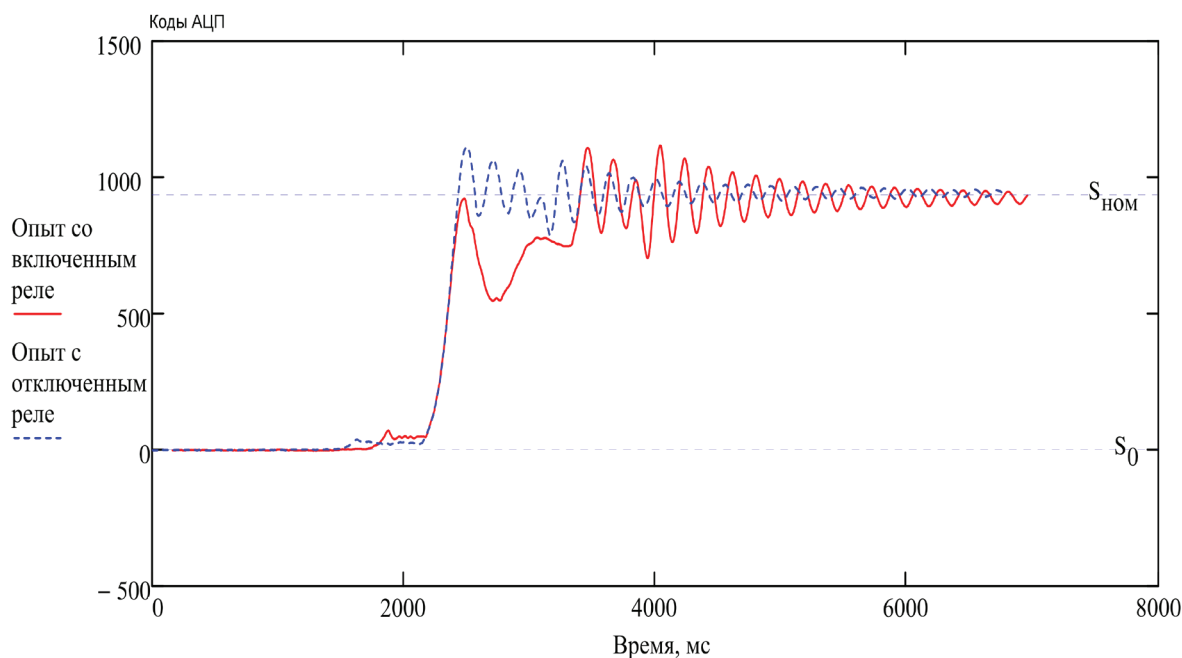


Рисунок 1 – Определение времени отклика системы $T_{откл}$ по двум экспериментальным графикам с выключенным и включенным реле ограничителя г/п

Figure 1 – Determination of the system response time according to two experimental charts with the switched off and on relay of the g/p limiter

динамические нагрузки на привод мостового крана, которые описываются системами ДУ с различными начальными и краевыми условиями.

Для решения этих систем ДУ применяются численные методы с использованием экспериментальных данных.

Параметры, которые определяются по экспериментальным данным при первичной настройке прибора - двух замерах при пустой крюковой подвеске и подъеме груза известной массы:

1. T , с - период собственных колебаний системы «кран-груз».

2. Масса номинального груза рассчитывается по формуле (1):

$$m_n = \frac{S_n - S_0}{S_{нз} - S_0} \cdot 1000, \quad (1)$$

где S_0 - нулевая настройка прибора; S_n - номинальная настройка прибора; $S_{нз}$ - значение нагрузки при подъеме груза известной массы $m_{нз}$, кг;

3. Затем алгоритмом программы определяется значение жесткости канатной подвески C (2):

$$C = \frac{4\pi^2 m_n}{T^2}. \quad (2)$$

4. Определяется реальная скорость подъема на основании временных замеров датчиками (4):

Реальная скорость подъема определяется на основании временных замеров датчиками при прохождении порогов в 20, 40, 60 и 80% нагрузки ($t_{20}, t_{40}, t_{60}, t_{80}$). В промежутках между порогом рассчитываются искомые величины. Для соседних точек i и j нагрузка S_i в %:

Тогда $S_i = (S - S_0) \cdot i + S_0$. Из чего следует, что путь $x_{\Delta i}$, проходимый грузом между i и j % нагрузки, составляет:

$$x_{\Delta i} = \frac{(S_j - S_i) m_{нз} g}{(S_{нз} - S_0) C}, \quad (3)$$

где S_i, S_j - нагрузка, соответствующая значению порогом нагрузки i и j %,

а $S_{нз}, S_0$ - нагрузка, соответствующая номинальному грузу и пустой крюковой подвеске.

C - жесткость подвески, $m_{нз}$ - груз известной массы.

Реальная средняя скорость на k -ом этапе (между i и j % нагрузки) определяется как (4):

$$v_{cp\Delta k} = \frac{x_{\Delta k} 1000}{t_j - t_i}, \quad (4)$$

где t_j, t_i - время, соответствующее i и j % нагрузке, $x_{\Delta k}$ - путь, проходимый грузом на k -том этапе.

5. Приведенная масса привода m_1 (5) определяется из равенства энергий:

$$m_1 = J \frac{\omega_0^2}{v_o^2}, \quad (5)$$

где $v_o = kv_n$ - скорость подъема груза при пустой крюковой подвеске; k - характеристика крана, v_n - номинальная скорость подъема груза; $\omega_0 = 2\pi n_0$ - максимальная скорость вращения двигателя при пустой крюковой подвеске; $n_0 = 1000 / 60$ - число оборотов при пустой крюковой подвеске; J - момент инерции подвижных частей крана.

6. Предварительно рассчитываем среднюю приведенную силу торможения F_T с учетом соображений и замечаний, изложенных в [7,8,9,10,11,12]:

$$F_T = m_1 \frac{v_n}{t_T}, \quad (6)$$

где t_T - время торможения, m_1 - приведенная масса привода крана, v_n - номинальная скорость подъема груза.

7. По графику двух замеров (см. рисунок 1) определяется время отклика системы $T_{откл}$.

Далее в алгоритме программы предусмотрены решения ДУ на различных этапах подъема груза до момента срабатывания тормоза двигателя подъема, сопряжение краевых условий на различных этапах и построение модели самонастройки прибора.

Этап 1.1. Разгон привода и выработка зазоров

Предполагается, что в момент включения двигателя грузовой канат не натянут, а также в приводе существуют значительные зазоры, за время выработки которых двигатель вместе с m_1 привода разгоняется до максимальной скорости вращения (ω_0). Значит в начальный момент времени для нашей модели ($T = 0, t = 0$) двигатель вращается с макси-

мальной скоростью и выработанными зазорами. Деформацию каната в этот момент также можно считать равной нулю.

Так как двигатель имеет не идеально жесткую механическую характеристику, его скорость вращения будет падать с ростом нагрузки. Исходя из того что привод работает в значениях моментов двигателя не более $1,3M_n$ (M_n - номинальный крутящий момент двигателя) положим характеристику линейной. Из нее выразим зависимость приведенной силы тяги привода $F_{np}(v)$, действующей со стороны привода на приведенную массу m_1 , от скорости привода (8):

$$v = v_0 - F_{np} \frac{v_0 - v_n}{F_n} \quad (7)$$

$$F_{np}(v) = \frac{(v_0 - v)m_n g}{v_0 - v_n}, \quad (8)$$

где v - реальная скорость подъема груза, а v_0, v_n - скорости, указанные в формуле (5).

Этап 1.2. Вытяжки каната до отрыва груза

На этом этапе происходит перемещение массы m_1 за счет деформации каната, вызывающее силу натяжения, которой в свою очередь противодействует возрастающая по механической характеристике приведенная сила тяги привода $F_{np}(v)$. Запишем ДУ по уравнению сил (7).

$$F_{np}\left(\frac{dx}{dt}\right) - cx_1 = m_1\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right). \quad (9)$$

Решение уравнения 9 ищется в виде (10) при начальных условиях $\dot{x}_1(0)=0$ и $x_1(0)=0$:

$$x_1(t) = x_{1OD} + x_{1n} = e^{\alpha t} (C_1 \sin(\beta t) + C_2 \cos(\beta t)) + D \quad (10)$$

$$\text{или } x_1(t) = e^{\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\beta} \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)} \sin(\beta t) - \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)} \cos(\beta t) \right) + \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)}. \quad (11)$$

Из условия окончания этапа находим время переходного процесса t_{nn} . Условием является либо равенство силы упругости каната весу груза $m_2 = 1,25m_n$ (малый груз), либо достижение времени первого порога t_{nn1} . Первый предварительный порог ищется из рекомендаций работы [13]. Принимаем его значение для оценки снижения динамики, а также из соображений общего подхода к решению задачи, равным 30% от номинальной нагрузки. После этого сравниваем значения t_{nn1} и t_{nn} , выбираем дальнейший этап: если t_{nn} наступает первым, значит к концу первого этапа груз оторвался, если нет, значит привод выключился и необходимо рассматривать второй этап натяжения с выключенным приводом.

Этап 2. Этап отключения привода

Начало этапа соответствует времени $t_{\text{э}1}$. Первую часть груз доходит по инерции с первого этапа ($t < t_{nn}$). Для этого этапа ДУ по уравнению сил принимает вид (12):

$$-F_T - cx_2 = m_2\left(\frac{d^2x_2}{dt^2}\right). \quad (12)$$

Решение уравнения 12 ищется в виде (13) при начальных условиях $\dot{x}_2(t_{\text{э}1}) = v_I(t_{\text{э}1})$ и $x_2(t_{\text{э}1}) = x_1(t_{\text{э}1})$:

$$x_2(t) = x_{2OD} + x_{2n} = C_1 \sin(\beta t) + C_2 \cos(\beta t) + D \quad (13)$$

где C_1, C_2, D - константы, получаемые из решения задачи Коши.

Из условия окончания этапа находим время переходного процесса t_{nn} . Условием окончания является либо равенство силы упругости каната весу груза m_2 , либо полная остановка привода. Сравниваем значения t_{nn2} и t_{nn} , выбираем дальнейший этап: если t_{nn} наступает первым, значит к концу второго этапа груз оторвался, и мы переходим к рассмотрению торможения с «оторванным» грузом; если нет, значит привод остановился и груз не оторвался.

3 Этап. Этап отрыва груза

На данном этапе происходит отрыв груза с отключенным приводом. Натяжение в канате начинает зависеть от двух координат одновременно. Вторая масса (груз) движется под действием силы упругости каната. Запишем систему ДУ по уравнениям сил для двух масс (14) и (15).

$$c(-x_4 + x_3) - m_2 g = m_2 \left(\frac{d^2 x_3}{dt^2} \right) \quad (14)$$

$$-F_T - c(x_4 - x_3) = m_1 \left(\frac{d^2 x_4}{dt^2} \right) \quad (15)$$

При начальных условиях $x_4(t_{32}) = x_2(t_{32})$, $\dot{x}_4(t_{32}) = v_2(t_{32})$, $x_3(t_{32}) = 0$ и $\dot{x}_3(t_{32}) = 0$

Решение системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений находится численными методами Рунге-Кутты.

Момент времени t_{nn3} , когда скорость привода становится равной нулю, является граничным условием третьего этапа и начальным условием для четвертого этапа.

Этап 4. Этап свободных колебаний груза

Начало этапа соответствует времени t_{nn3} . ДУ по уравнению сил для этого этапа имеют вид (16):

$$c x_5 - m_2 g = m_2 \left(\frac{d^2 x_5}{dt^2} \right) \quad (16)$$

Решение уравнения 16 ищется в виде (17) при начальных условиях $\dot{x}_5(t_{nn3}) = v_3(t_{nn3})$ и $\dot{x}_3(t_{nn3}) = v_3(t_{nn3})$:

$$x_5(t) = x_{5OD} + x_{5n} = C_5 \sin(\beta t) + C_6 \cos(\beta t) + D \quad (17)$$

где C_5, C_6, D - константы, получаемые из решения задачи Коши.

Условием окончания этапа является окончание времени срабатывания $t_{nn} = t_{nn1} + t_{cp}$

Пример расчета изменения нагрузки при подъеме груза массой $1,25m_n$ для мостовых кранов приведен на рисунке 2.

Путем варьирования предварительного порога срабатывания с дискретным шагом в 1% определяется экстремальное (максимальное) значение нагрузки при граничном условии «неотрыва» груза массой $1,25m_n$. Полученное таким образом значение предварительного порога срабатывания является оптимальной настройкой ограничителя грузоподъемности.

Запас по нагрузке из условия «неотрыва» при $1,25m_n$ составил порядка 2,4-2,5%. Порог запрета по максимальной нагрузке устанавливается на уровне 1-2% меньше расчетного максимального значения.

Порог разрешения подъема устанавливается на 5% ниже минимального значения нагрузки в рабочем цикле с включенным реле ограничителя грузоподъемности.

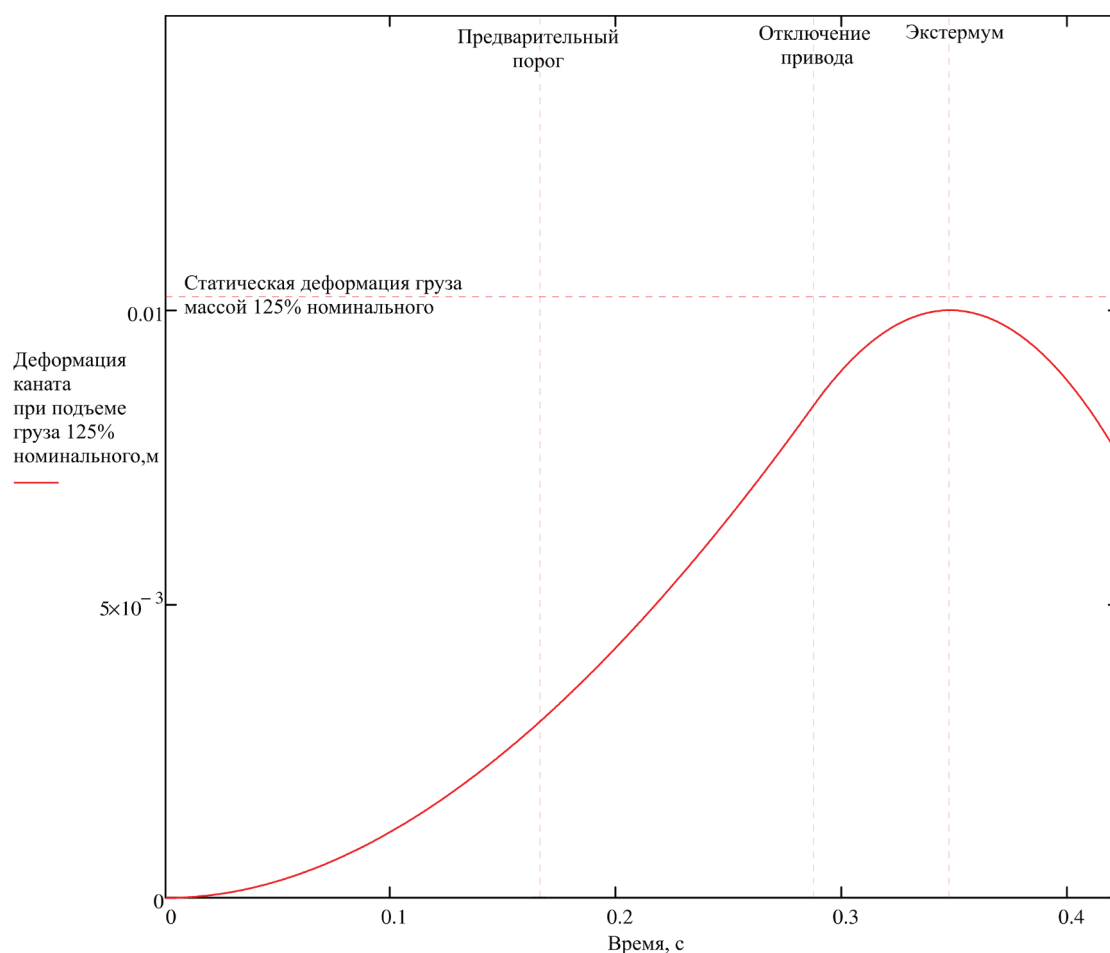


Рисунок 2 – Изменение деформации каната при подъеме груза массой $1,25m_n$,
Figure 2 – Change of the rope deformation by the weight lifting of $1,25m_n$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для подтверждения применимости расчётной модели и программы самонастройки ПБ были проведены испытания прибора на мостовом кране грузоподъёмностью 1,6 т. На основе записанных данных о подъеме пустой крюковой подвески и номинального грузом и паспортных данных крана были определены динамические характеристики крана и время отклика $T_{откл}$. Были теоретически определены предварительный порог срабатывания ограничителя грузоподъёмности ОГШ при неизменном времени срабатывания $t_{раб}$, составивший 30% от номинальной нагрузки, и порог запрета по максимальной нагрузке..

$t_{раб}$ - время срабатывания, предварительно установленное в приборе ОГШ. Так как в данном опыте время срабатывания не вли-

яет на основную функцию прибора, оно принято $t_{раб} = 4 \text{ с}$, что много больше времени полной остановки привода $t_{торм} = 0,15 \text{ с}$ и необходимо для успокоения колебаний груза после остановки двигателя.

Эксперименты подтвердили возможность применения разработанного алгоритма самонастройки прибора ОГШ для выполнения требований ФНП на данном кране - подъема номинального груза m_n и запрета подъема груза массой $1,25m_n$ и показали снижение максимальных динамических нагрузок на привод крана (рисунок 3).

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработанном алгоритме программы самонастройки ПБ ограничителя грузоподъ-

емности ОГШ для мостовых кранов работе с заданными параметрами и после проведения экспериментов по подъему груза мостовым краном были получены следующие результаты:

1) Выполнение требований ФНП по обеспечению защиты крана от перегруза: подъем номинального груза m_n и запрет подъема $1,25m_n$.

2) Сокращение времени настройки, большее удобство и простота настройки ПБ ОГШ и меньшие трудозатраты специалиста.

3) Снижение максимальных динамических нагрузок на привод крана.

4) Запас по нагрузке из условия «неотрыва» при $1,25m_n$ составил порядка 2,4-2,5%.

Введены и обоснованы допущения и краевые условия в расчетной модели самонастройки прибора ОГШ для практического применения в разработке и конструировании данного типа приборов. Реализован расчетный алгоритм, и прибор ОГШ запрограммирован в соответствии с расчетным алгоритмом.

Результаты экспериментов подтвердили возможность применения алгоритма самона-

стройки прибора ограничителя грузоподъемности ОГШ для получения необходимых на данном кране параметров работы и выполнения требований ФНП при работе мостового крана.

Результаты экспериментов также подтвердили удобство программы самонастройки и сокращение времени настройки ограничителя грузоподъемности ОГШ.

При дальнейшей модификации алгоритма программы следует учесть жесткость основания и демпфирование каната, что повысит запас по нагрузке и дополнительно еще снизит динамические нагрузки на канат и привод крана.

Планируется разработка и производство новой серии ограничителей грузоподъемности ОГШ (ЗАО ИТЦ «КРОС») с программой на основе алгоритма рассмотренного в настоящей статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимин Ю.Ф. Корников М.В. Применение ограничителей грузоподъемности типа ОГШ в составе кранов, эксплуатирующихся на гидро-

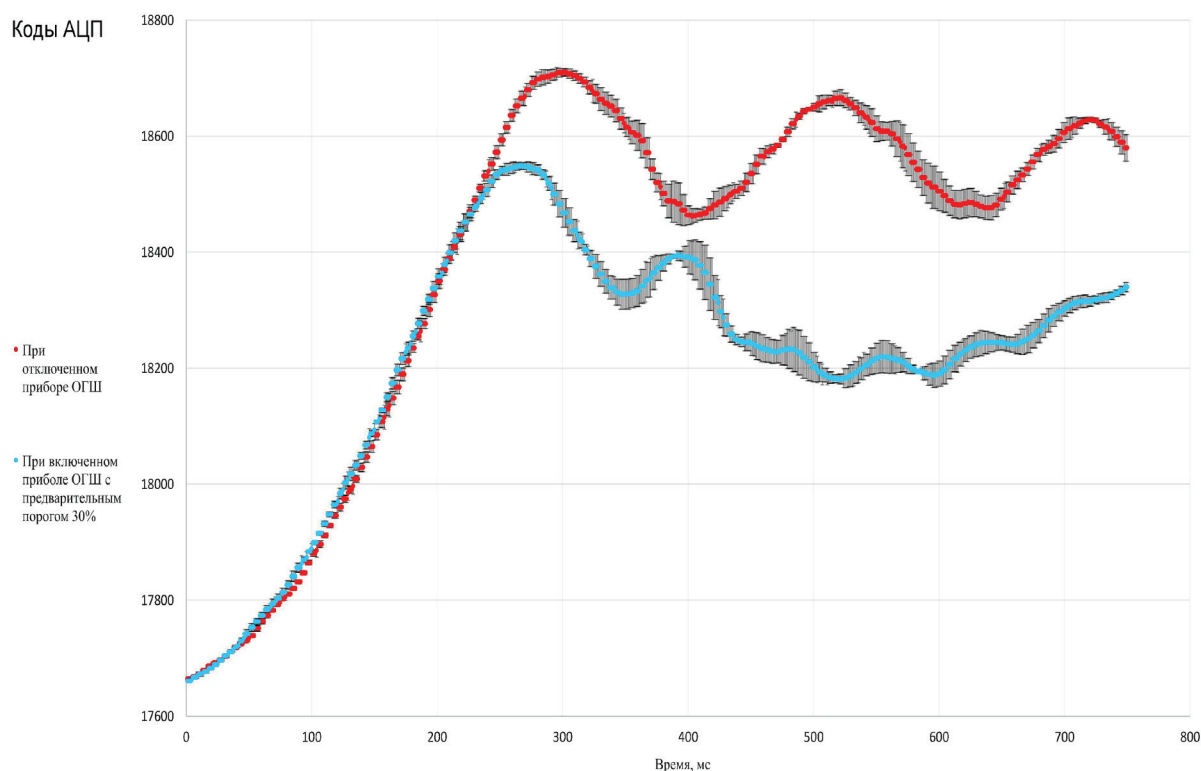


Рисунок 3 – Динамические нагрузки на канат при подъеме номинального груза m_n при включенном реле ограничителя и пороге 30% номинальной нагрузки и отключенном реле
Figure 3 – Dynamic load on the rope by the rated load m_n lifting when the limiter relay is switched on and the threshold of 30% of the rated load when the relay is disconnected.

технических сооружениях // Топэнергопром. 2014. № 5 (январь-февраль). С.32-33.

2. Тимин Ю.Ф. Горальчук П.П. Ограничители грузоподъемности для мостовых, козловых и порталных кранов // Федеральный строительный рынок. 2008. № 3(68) апрель. С. 28-30

3. Тимин Ю.Ф. Корников М.В. Ограничители грузоподъемности типа ОГШ: реалии и перспективы // Федеральный строительный рынок. 2010. № 5(85). С. 110-113.

4. Иванов С.Д. Обеспечение корректной работы ограничителей грузоподъемности кранов мостового типа // Механизация строительства. 2014. № 5. С. 23-25.

5. Иванов С.Д. Стенд для изучения работы ограничителя грузоподъемности и регистратора параметров работы мостового крана // Механизация строительства. 2012. № 8. С. 32-37.

6. Иванов С.Д. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мостовом кране, оборудованном ограничителем грузоподъемности // Механизация строительства. 2015. №6. С. 54-56

7. Носко А.Л. Федосеев В.Н. Энергоемкие автоматические стопорные тормоза с торсионным замыканием // Приводная техника. 1997. N 4.

8. Носко А.Л. Носко А.П. Исследование охлаждения тормозных устройств ПТМ // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2005. N 3. С. 88-99.

9. Носко А.Л. Носко А.П. Расчет нагрева тормозных устройств ПТМ // Строительные и дорожные машины. 2007. N 3. С. 38-43.

10. Носко А.Л. Исследования тормозных устройств кранов. Der Kran und sein Umfeld in Industrie und Logistik. // 19 Internationale Kranfachtagung. Magdeburg. 2011. P. 45-55.

11. Носко А.Л. Методика оценки изменения тормозного момента применительно к тормозам грузоподъемных машин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 5 (686). С. 37-44

12. Носко А.Л. Оценка эффективности тормозов при обеспечении безопасной работы грузоподъемных машин: монография М: Университетская книга. 2017. 136 с.

13. Шакаров К.К., Иванов С.Д., Носко А.Л. Определение параметров математической модели механизма подъема мостового крана, оснащенного ограничителем грузоподъемности // Механизация строительства. 2017. №6. С. 46-49.

REFERENCES

1. Timin YU.F. Kornikov M.V. Primenenie ogranicitelej gruzopod"emnosti tipa OGSh

v sostave kranov, ehkspluatiruyushchihsya na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyah [Use of payload type OGSh limiters in the composition of the cranes operated by hydraulic structures]. *Topehnergoprom*, 2014, no 5 (yanvar'-fevral'), pp.32-33. (in Russian).

2. Timin YU.F. Goral'chuk P.P. Ogranichiteli gruzopod"emnosti dlya mostovyh, kozlovyh i portal'nyh kranov.[Limiters-duty bridge, gantry and portal cranes]. *Federal'nyj stroitel'nyj rynek*, 2008, no 3(68) aprel', pp. 28-30. (in Russian).

3. Timin YU.F. Kornikov M.V. Ogranichiteli gruzopod"emnosti tipa OGSH: realii i perspektivy [Limiters-duty OGSh type: realities and prospects]. *Federal'nyj stroitel'nyj rynek*, 2010, no 5(85), pp. 110-113. (in Russian).

4. Ivanov S.D. Obespechenie korrektnoj raboty ogranicitelej gruzopod"emnosti kranov mostovogo tipa [Ensuring the correct operation of the load limiters of bridge type cranes]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2014, No 5. pp. 23-25. (in Russian).

5. Ivanov S.D. Stend dlya izucheniya raboty ogranicitelya gruzopod"emnosti i registratora parametrov raboty mostovogo kрана [Stand for the study of the load limiter and the registrar of the parameters of the bridge crane]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2012, no 8, pp. 32-37.(in Russian).

6. Ivanov S.D. Ehksperimental'noe issledovanie dinamicheskikh nagruzok na mostovom kране, oborudovannym ogranicitelem gruzopod"emnosti [Experimental study of dynamic loads on the bridge crane equipped with a load limiter]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2015, no 6, pp. 54-56. (in Russian).

7. Nosko A.L. Fedoseev V.N. Energoemkie avtomaticheskie stopornye tormoza s torsionnym zamykaniem [Energy-intensive automatic brake with torsion lock]. *Privodnaya tekhnika*, 1997, No 4. (in Russian).

8. Nosko A.L. Nosko A.P. Issledovanie ohlazhdeniya tormoznyh ustrojstv PTM [Investigation of the cooling systems of the braking MMT devices]. *Vestnik MGTU im. N.EH. Bauman*, 2005. no 3, pp. 88-99. (in Russian).

9. Nosko A.L. Nosko A.P. Raschet nagreva tormoznyh ustrojstv PTM [Calculation of the heat of the braking MMT devices]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2007, no 3, pp. 38-43. (in Russian).

10. Nosko A.L. Issledovaniya tormoznyh ustrojstv kranov [Studies of crane braking devices]. Der Kran und sein Umfeld in Industrie und Logistik - 19 Internationale Kranfachtagung. Magdeburg, 2011, pp. 45-55.

11. Nosko A.L. Metodika ocenki izmeneniya

tormoznogo momenta primenitel'no k tormozam gruzopod'emnyh mashin [The method of the change of the brake moment estimation in relation to brakes of load-lifting cars]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroyeniye*, 2017, no 5 (686), pp. 37-44. (in Russian).

12. Nosko A.L. *Otsenka effektivnosti tormozov pri obespechenii bezopasnoy raboty gruzopod'emnyh mashin: monografiya* [Evaluation of the effectiveness of brakes while ensuring the safe operation of lifting machines]. Moscow, Universitetskaya kniga. 2017. 136 p.

13. SHakarov K.K., Ivanov S.D., Nosko A.L. *Opreделение parametrov matematicheskoy modeli mekhanizma pod'ema mostovogo krana, osnashchennogo ogranichitelem gruzopod'emnosti* [Determination of the mathematical model parameters of the bridge crane lifting mechanism, equipped with a load limiter]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2017, No 6. pp. 46-49. (in Russian).

Поступила 06.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рощин Виталий Андреевич – инженер ЗАО ИТЦ «КРОС» (Россия, г. Москва, e-mail: roshchinva@mail.ru).

Иванов Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана (Россия, г. Москва, e-mail: rk4@bmstu.ru).

Михальчик Николай Леонидович – студент 4 курса кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана (Россия, г. Москва, e-mail: molotilkin@bk.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Roshchin Vitaly Andreevich – Engineer of the Engineering and Technical Center "KROS", Moscow, Russia (e-mail: roshchinva@mail.ru).

Ivanov Sergey Dmitrievich – candidate of technical science, Associate Professor of the Hoisting and Transport Systems Department, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia (e-mail: rk4@bmstu.ru).

Michalchik Nikolay Leonidovich – 4th year Student of the Lifting and Transport Systems Department, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia (e-mail: molotilkin@bk.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Иванов С.Д. теоретическое обоснование работы, общее руководство, анализ результатов экспериментов.

Рощин В.А. проведение экспериментов, анализ результатов экспериментов.

Михальчик Н. Л. проведение экспериментов, обработка результатов экспериментов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ivanov S.D. theoretical justification of the research, general management and analysis of the experiments' results.

Roshchin V. A. experimentation and analysis of the experiments' results.

Mikhalchik N.L. experimentation and processing of the experiments' results.

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

УДК 629.113
DOI:

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДАЛЬНОМЕРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ТОЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.М. Асхабов, Е.С. Воеводин, В.А. Зеер, А.С. Кашура
Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью проводимых исследований было определение параметров и характеристик лазерных измерительных систем, обеспечивающих снижение погрешностей измерения геометрических параметров транспортных средств.

Поставленная цель достигалась за счет решения актуальной задачи, связанной с исследованием параметров лазеросодержащего оборудования и определения требований к

точности (паспортной погрешности) лазерных дальномеров, применяемых при контроле геометрических параметров транспортных средств.

Материалы и методы. Для выполнения сформулированной задачи был создан и использован алгоритм вычисления пространственных координат точек автомобиля и погрешностей их определения. В данном случае вычисления пространственного положения точки и ее погрешности было сведено к определению и решению системы уравнений второго порядка в программной среде Mathcad. В качестве контролируемых и измеряемых параметров при вычислении координат принимались расстояния от лазерных измерителей до исследуемых точек автомобиля.

Результаты. Среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками существенно снижается при уменьшении паспортной погрешности лазерных дальномеров. При величине паспортной погрешности лазерных дальномеров равной 0,8 мм – среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками (от 0 до 3 000 мм) составляет 2,2–2,9 мм, а погрешность определения контрольной точки 1,5–1,9 мм.

Обсуждение и заключение. Проведенные исследования показали, что необходимо сопоставлять достигаемые параметры точности при заданной конфигурации лазерной измерительной системы с предъявляемыми нормативными ограничениями на погрешность измерений. Дальнейшее улучшение характеристик точности измерительных систем возможно за счет прогрессивного снижения погрешности лазерных дальномеров в результате их технического совершенствования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортные средства, геометрические параметры, измерительные системы, погрешность измерений, повышение точности, лазерные измерители.

БЛАГОДАРНОСТИ: выражается особая благодарность коллективу кафедры транспорта ПИ СФУ, оказавшему значительную поддержку при подготовке материалов настоящей статьи.

© А.М. Асхабов, Е.С. Воеводин, В.А. Зеер, А.С. Кашура



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF RANGE FINDERS WITH THE IMPROVED CHARACTERISTICS ON THE ACCURACY OF GEOMETRICAL PARAMETERS CONTROL OF VEHICLES

A. M. Askhabov, E.S. Voevodin, V.A. Zeer, A.S. Kashura
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The purpose of the research is the determination of parameters and characteristics of the laser measuring systems providing decrease in errors of measurement of geometrical parameters of vehicles.

The goal is achieved at the expense of the solution of the relevant task connected with the parameters research of the laser equipment and definition of requirements to accuracy (a passport error) of the laser range finders applied at geometrical parameters control of vehicles.

Methods and materials. The algorithm of calculation of spatial coordinates of the car points and errors of their definition has been created and used for the research. In this case calculations of spatial provision of the point and its error have been reduced to definition and to the solution of the equations system of the second order in the MathCAD program environment. As the controlled and measured parameters at coordinates' calculation of distances from laser measuring instruments to the studied car points were accepted.

Results. As a result, the mean square error of measurement of distance between control points significantly decreases at reduction of the passport error of laser range finders. At the size of the passport error of laser range finders equals 0,8 mm, the mean square error of measurement of distance between control points (from 0 to 3000 mm) equals 2,2-2,9 mm, and an error of definition of the control point is 1,5-1,9 mm.

Discussion and conclusion. The conducted research demonstrates that it is necessary to compare the reached accuracy parameters at the set configuration of laser measuring system with the shown standard restrictions for an error of measurements. Therefore, further improvement of characteristics of accuracy of measuring systems is possible due to progressive decrease in an error of laser range finders as a result of their technical improvement.

KEYWORDS: vehicles, geometrical parameters, measuring systems, error of measurements, increase in accuracy, laser measuring instruments.

ACKNOWLEDGMENTS: The authors express special thanks to the staff of the Transport Department of the Siberian Federal University for providing significant support in the preparation of the article materials.

© A. M. Askhabov, E.S. Voevodin, V.A. Zeer, A.S. Kashura



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование контрольно-измерительного оборудования, применяемого для технологических операций при техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р) транспортных средств (ТС), часто достигается не только за счет применения новых идей и технологий, а в том числе и за счет эволюционного развития средств измерений и улучшения их качественных и потребительских характеристик¹. Сказанное выше применимо и к лазерным измерительным системам, предназначенным для проверки геометрических параметров ТС (геометрических параметров кузова и расположения осей, мостов и колесных тележек; углов установки колес (УУК) и пр.), характеристики которых могут серьезно корректироваться под воздействием различных сторонних факторов в процессе эксплуатации ТС. В настоящее время лазерные измерительные системы, наряду с механическими, ультразвуковыми и др., получили достаточное распространение в сфере контроля геометрических параметров ТС [1]. Применение лазеросодержащего оборудования на основе бесконтактных измерителей (лазерных измерителей, дальномеров) в сфере ТО и РТС в условиях их эксплуатации предполагает множественную вариативность его исполнения. Каждая вариация исполнения измерительной системы обладает определенной погрешностью получаемых результатов измерений. Отсутствие или недостаток сведений о зависимости точности результатов измерений от характеристик и параметров лазеросодержащего оборудования вызывает противоречие, ограничивающее его повсеместное применение в сфере ТО и Р автомобилей.

Особое внимание при анализе было уделено исследованиям, связанным с новыми перспективными технологиями на основе лазерного и оптического контроля, а также новым подходам при изучении вопросов контроля геометрических параметров. В настоящее время эти технологии могут применяться при: позиционировании объектов [2], контроле геометрии [3, 4], измерении формы колес с помощью оптических методов [5], определении габаритных параметров автомобилей [6], обеспечении параметров управляемости и устойчивости транспортных средств [7, 8],

а также обеспечении других параметров безопасности автомобиля [9]. Кроме этого, практической ценностью обладает опыт использования подобных измерений в других областях: точное расположение лазерного луча для измерения растительности [10], контроль технических структур в геодезии [11], применение лазерного сканера в техническом зрении [12], использование лазерных дальномеров в картографии [13], а также при анализе вопросов улучшения метрологических характеристик и точности измерений [14, 15, 16].

Следует отметить, что на сегодняшний день примеры использования лазера в техническом сервисе автомобилей практически неизвестны и его применение ограничено лишь измерениями геометрических параметров ТС, а его луч используется, как правило, только лишь в качестве визира.

Как показал анализ технической документации по обслуживанию ТС иностранного производства, замеры контролируемых параметров в основном производятся по точкам крепления узлов и агрегатов шасси (кузова) автомобиля. Допуски (погрешности измерения), в зависимости от марки и модели транспортного средства, в основном составляют от 1 до 3 мм. Отечественные нормативные документы имеют следующие допуски: ГОСТ 22748–77 «Автотранспортные средства. Номенклатура наружных размеров. Методы измерений» – 8–30 мм в зависимости от линейного размера; РД 37.009.024–92 «Приемка, ремонт и выпуск из ремонта кузовов легковых автомобилей предприятиями автотехобслуживания» устанавливает на большинство регламентируемых линейных размеров погрешность измерения более 2 мм. Помимо этого отечественные изготовители могут применять отдельные ТУ и РД, в которых учитываются допуски на линейные размеры до 3–5 мм.

Исходя из вышеуказанных показателей погрешности, а также с учетом экономической эффективности на сегодняшний день наибольшее распространение получили механические измерительные системы (использование шаблонов, измерительные линейки и т.п.), ультразвуковые и оптические системы повышенной точности.

Авторами настоящей статьи ранее был выполнен ряд работ и опубликованы материалы

¹ Солдатов А.А. Повышение качества контроля геометрических параметров кузова автомобиля путем автоматизации процесса: автореферат дис. кандидата техн. наук: 05.13.06 / А.А. Солдатов; Тольяттинский гос. ун-т; рук. работы О.И. Драчев. Тольятти: [б.и.], 2004. 17 с.

с результатами исследований, раскрывающих:

- вопросы оптимизации параметров лазерных систем контроля геометрических параметров ТС;
- проблемы создания лазерных систем контроля и погрешности проводимых измерений [17, 18];
- особенности разработки алгоритма измерений и методики исследования погрешности измерения, обеспечиваемых «3D-системами»² [19];
- алгоритмические нюансы вычисления погрешностей измерения координат контрольных точек ТС [20].

Следует учитывать, что измерительное оборудование с каждым годом совершенствуется и приобретает качества и характеристики, какими оно не обладало еще несколько лет назад. Это утверждение касается и ключевой составляющей лазерных измерительных систем – лазерного дальномера. Анализ различной продукции дальномеров показал, что за последнее время показатели точности некоторых действующих образцов существенно улучшились: среднеквадратическое отклонение (СКО) прямого измерения снизилось почти в два раза – с 1,5 мм до 0,8 мм, что требует изучения влияния снижения СКО на точность проводимых измерений координат контрольных точек ТС.

Исходя из вышесказанного целью проводимых исследований стало определение параметров и характеристик лазерных измерительных систем, обеспечивающих снижение среднеквадратических отклонений измерения геометрических параметров ТС.

Поставленная цель достигается за счет решения актуальной задачи, связанной с исследованием параметров лазеросодержащего оборудования и определения требований к точности (паспортной погрешности) лазерных дальномеров, применяемых при контроле геометрических параметров ТС, находящихся в эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс измерения и контроля геометрических параметров автомобиля представляется возможным рассмотреть с точки зрения системного подхода и сложных систем с учетом внутренних и внешних связей между техническими и организационными параметрами. Таким образом, в процессе измерения и контроля геометрических параметров ТС участвуют:

- исследуемое ТС (сложный многосоставной объект), обладающее определенными геометрическими параметрами конструкции;
 - технический персонал, который устанавливает параметры измерительной системы и режимы измерений, с определенными психофизиологическими особенностями и индивидуальным пониманием процесса и методики проведения диагностических воздействий;
 - измерительная система контроля и измерения геометрических параметров ТС с заданными (паспортными) техническими свойствами и техническим состоянием, действительным на момент проведения измерений;
 - производственная зона или диагностический участок со специализированным технологическим оборудованием, инструментарием и оснасткой;
 - факторы внешней среды, а также условия проведения технологических работ и методика измерений геометрических параметров.
- Каждый из выше рассмотренных факторов как в отдельности может вносить значительный вклад в формирование неточности измерений, так и в случае совокупного действия факторов погрешность измерения может значительно увеличиваться.

Теория системного анализа представляет возможность рассматривать объект исследования как совокупность различных внутренних параметров. В том случае если объект испытания (процедуру измерения геометрических параметров автомобиля) рассмотреть как черный ящик, то входящие и выходящие связи при измерении геометрических параметров можно представить в соответствии со схемой, отображенной на рисунке 1.

² Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Методика исследования погрешностей измерения координат контрольных точек транспортных средств. Политранспортные системы Сибири : материалы VI Всероссийской науч.-техн. конференции (Новосибирск, 21–23 апр. 2009 г.). Новосибирск: СГУПС, 2009. С. 88–93.

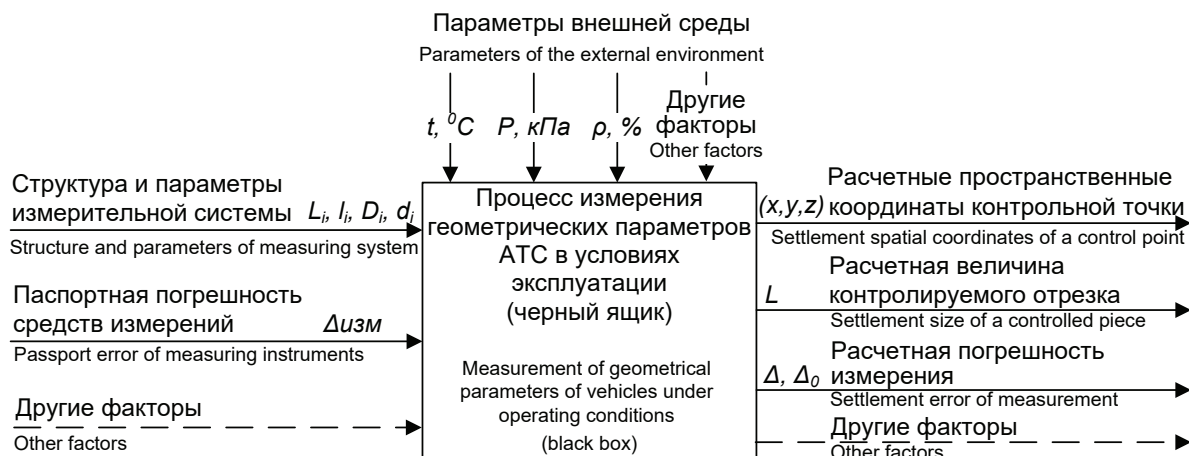


Рисунок 1 – Процесс измерения геометрических параметров ТС
Figure 1 – Process of measurement of the vehicle geometrical parameters

В таком представлении процедуры измерения параметров напрашивается мысль о том, что входные процессы непосредственно влияют и на выходные. Таким образом, если входные процессы будут корректироваться, то и на выходе системы будут формироваться различные варианты результатов измерения.

В результате коррекции входных сигналов формируются процессы отклика и на выходе системы: меняются вычисленные значения координат (x, y, z) контрольных точек объекта, преобразуется вычисленный размер длины контролируемого отрезка, меняется величина вычисленного отклонения измерения контролируемого параметра.

Визуализация процесса измерения и контроля геометрических параметров ТС с точки зрения системного подхода позволяет применить при исследовании и изучении систем измерения как глубокий анализ, так и целенаправленный параметрический синтез.

Выявление корректных (рабочих) параметров элементов систем, при установленных структуре и различных условиях применения, соответствует параметрическому синтезу, т.е. при параметрическом синтезе необходимо найти диапазоны значений внутренних параметров, в которых выполняются заданные условия, в рассматриваемой работе – минимум среднеквадратической погрешности измерения.

В рамках ранее опубликованных работ авторами были предложены и рассмотрены различные варианты лазерных измерительных систем [18]. В качестве перспективной для дальнейшего анализа выбрана система на основе трех лазерных дальномеров [19], схема-

тичное изображение которой представлено на рисунке 2.

Способ содержит определение координат (x, y, z) контрольных точек с использованием лучей измерительных элементов, которые сводятся на исследуемой точке D автомобиля. После определения координат искомой точки лазерные лучи наводятся на следующую контрольную точку. В роли измерительных элементов используются 3 лазерных дальномера, которые фиксируются с заданными базовыми координатами, фокусируют лучи на контролируемую точку, определяют длину лучей и вычисляют координаты точки. С целью оптимального замера лазерные измерители перемещаются до образования равносторонней пространственной пирамиды при каждом измерении.

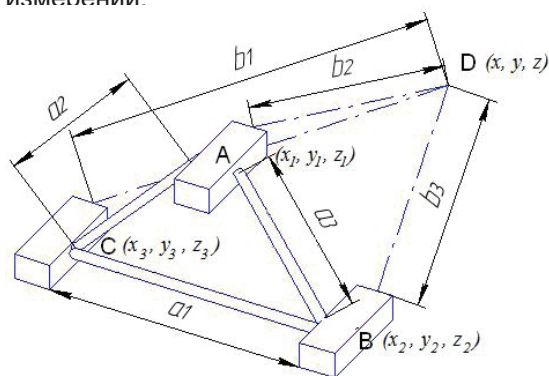


Рисунок 2 – Схематичное изображение измерения

Figure 2 – Scheme of measurement

Расчетные исследования основывались на определении погрешностей измерения положения контрольных точек ТС при использовании различных вариантов лазерных измерительных

систем. Погрешность измерения расстояния между контрольными точками ТС для всех вариантов вычисляется по формуле (1):

$$\Delta_o = \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2)}, \quad (1)$$

где Δ_1, Δ_2 – СКО 1 и 2 точек отрезка.

Рассмотрим модель расчета положения контрольных точек и погрешностей их измерения. Для выполнения сформулированной задачи был создан и использован алгоритм [19] вычисления пространственных координат точек автомобиля и погрешностей их определения, расчетные элементы которого используются при решении различных навигационных задач, а если точнее – вариация вычисления теоретической погрешности с помощью активно-дальномерного метода определения координат пространственных точек. В данном случае вычисления пространственного положения точки и ее СКО было сведено к определению и решению системы уравнений второго порядка в программной среде Mathcad. В качестве контролируемых и измеряемых параметров при вычислении координат (x, y, z) принимались расстояния от лазерных измерителей до исследуемых точек ТС. Результат измерения можно выразить следующим образом:

$$R_{изм_i} = R_i + \Delta, \quad (2)$$

где Δ – паспортная погрешность измерения;

R_i – истинное расстояние от лазерного измерителя до исследуемой точки ТС.

Взаимосвязь расстояния с пространственными координатами определяется следующим образом:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}, \quad (3)$$

где $i = 1...3$ – порядковый номер лазерного дальномера;

x_i, y_i, z_i – координаты i -го лазерного дальномера;

x, y, z – искомые координаты исследуемой точки.

В соответствии с формулой (3) составляется система уравнений с тремя неизвестными и решается с помощью итерационного метода Гаусса-Ньютона. Алгоритм является модификацией метода Ньютона для нахождения минимума функции [21]. В отличие от метода Ньютона алгоритм Гаусса-Ньютона может ис-

пользоваться только для минимизации суммы квадратов.

Пространственные координаты начального приближения x_0, y_0, z_0 , применяемые для начального решения системы, выбираются из предварительных данных о месте исследуемой точки.

Для линеаризации уравнений используется ряд Тейлора:

$$R_{изм_i} = R_i + \frac{\partial R_i}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial R_i}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial R_i}{\partial z} \cdot \Delta z, \quad (4)$$

где R_i – рассчитанное по уравнению (3) значение длины луча в точке с пространственными координатами начального приближения (x_0, y_0, z_0) ;

$\frac{\partial R_i}{\partial x}, \frac{\partial R_i}{\partial y}, \frac{\partial R_i}{\partial z}$ – частные производные по установленным переменным x, y, z в пространственной точке (x_0, y_0, z_0) ;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – поправки к подлежащим определению пространственным координатам начального приближения.

Для того чтобы выразить частные производные по координатам x, y, z воспользуемся следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} k_{x_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial x} \right)_{x_0} = \frac{x_0 - x_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}, \\ k_{y_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial y} \right)_{y_0} = \frac{y_0 - y_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}, \\ k_{z_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial z} \right)_{z_0} = \frac{z_0 - z_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Формула (4) может быть записана в следующем виде:

$$b = K \cdot n, \quad (6)$$

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} k_{x_1} & k_{y_1} & k_{z_1} \\ k_{x_2} & k_{y_2} & k_{z_2} \\ k_{x_3} & k_{y_3} & k_{z_3} \end{pmatrix} \quad \text{– матрица коэффициентов;}$$

$$n = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad \text{– вектор неизвестных поправок системы к координатам начального приближения;}$$

$b = \begin{pmatrix} R_{ИЗМ1} - R_{01} \\ R_{ИЗМ2} - R_{02} \\ R_{ИЗМ3} - R_{03} \end{pmatrix}$ – вектор-столбец свободных членов, состоящий из ошибок вычислений между измеренными и рассчитанными по координатам начального приближения дальностями.

Вектор неизвестных определяется как итог решения формулы (4) методом последовательных приближений, начиная со значений координат начального приближения (x_0, y_0, z_0) . Затем путем ввода поправок $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ уточняются координаты начального приближения:

$$\begin{aligned} x_{0j} &= x_{0j-1} + \Delta x, \\ y_{0j} &= y_{0j-1} + \Delta y, \\ z_{0j} &= z_{0j-1} + \Delta z. \end{aligned} \quad (7)$$

где j – шаг итерационного процесса.

Далее координаты, которые получены в результате решения формулы (4), используются в качестве новых значений координат начального приближения. Итерационный процесс прекращается при достижении определенного значения точности ζ :

$$\zeta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}. \quad (8)$$

Блок-схема алгоритма определения координат контрольных точек автотранспортного средства представлена на рисунке 3.

Для определения погрешности измерения контролируемого параметра с использованием имитационного моделирования процесса измерения предлагается следующий порядок вычислений, а именно: по формуле (2) определяется $R_{ИЗМ i}$, где за Δ принимается вычисленная по нормальному закону распределения паспортная погрешность измерителя. Затем полученные значения дальностей $R_{ИЗМ i}$ ($i=1...3$) подставляются в рассмотренный выше алгоритм расчета определения координат контролируемого параметра. Полученные значения пространственных координат контрольной точки обозначаются (x', y', z') .

Таким образом, отклонения по каждой координате в системе пространственных координат имеют следующий вид:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ – отклонения, соответственно по пространственным координатам x, y, z .

Среднеквадратическое отклонение точки представляется в следующем виде:

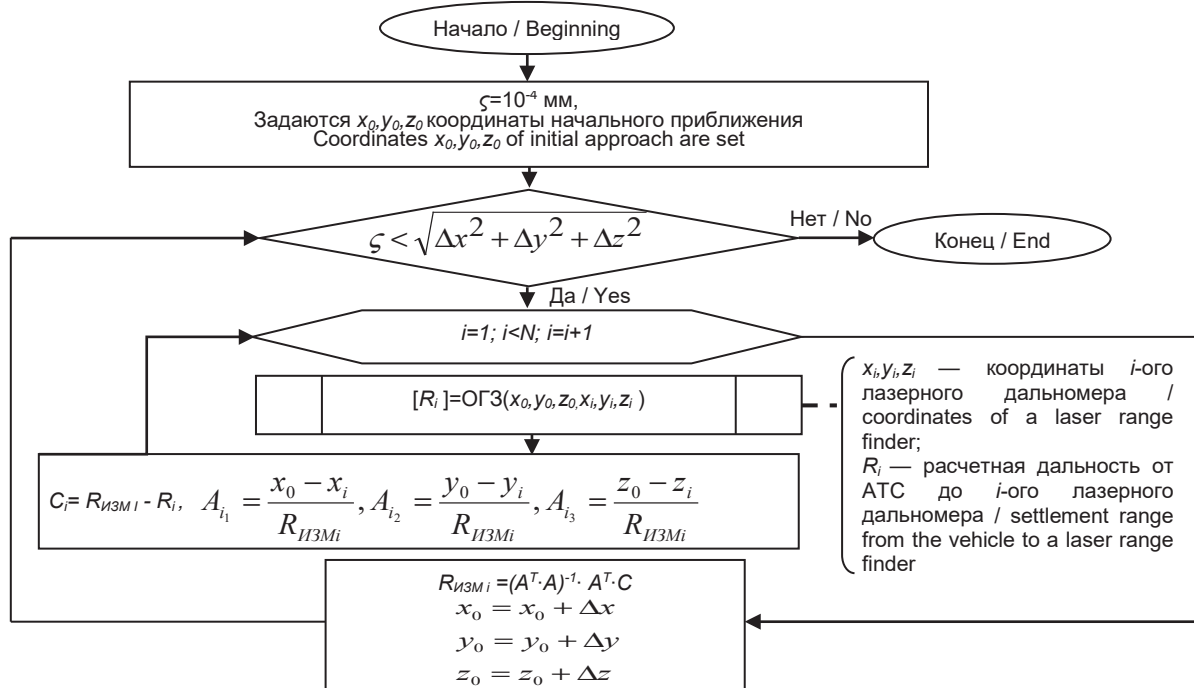


Рисунок 3 – Алгоритм определения координат контрольных точек автотранспортных средств

Figure 3 – Algorithm of the vehicle control points' definition

$$\sqrt{\sum_{i=1}^3 [(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]} =$$

$$= \sqrt{(\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2)} = \Delta \quad (10)$$

Погрешность измерения для контрольного отрезка Δ_o определяется по формуле (1).

Среднеквадратическое отклонение точки Δ или отрезка Δ_o является основным параметром оценки точности измерения контролируемого объекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На данном этапе исследований было рассмотрено влияние паспортной погрешности лазерных дальномеров на величину среднеквадратической погрешности измерения контрольных точек и расстояния между контрольными точками ТС. На сегодняшний день точность дальномеров, которые массово представлены на потребительском рынке и обладают доступной стоимостью, постоянно повышается. В последние несколько лет стали появляться измерительные инструменты с повышенной точностью измерений – 0,8–1 мм. Для дальнейших исследований были проанализированы характеристики действующих образцов продукции (см. таблицу).

При проведении расчетных исследований к начальным параметрам были добавлены условия: паспортная погрешность лазерных дальномеров изменяется в следующих пределах – 0,8 мм, 1,0 мм и 1,5 мм; измерительная система располагается напротив предполагае-

мого центра расстояния между контрольными точками; расстояние между лазерными дальномерами равно расстоянию от дальномеров до контрольной точки.

Зависимости среднеквадратической погрешности измерения расстояния между контрольными точками от паспортной погрешности лазерных дальномеров представлены на рисунке 4.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ представленных графиков показывает, что среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками существенно снижается при уменьшении паспортной погрешности лазерных дальномеров. При величине паспортной погрешности лазерных дальномеров, равной 0,8 мм, – среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками (от 0 до 3 000 мм) составляет 2,2–2,9 мм, а погрешность определения контрольной точки 1,5–1,9 мм.

Обзор технической документации по обслуживанию ТС показал, что допуски (погрешности измерения), в зависимости от марки и модели транспортного средства, в основном составляют до 3 мм. В некоторых случаях могут предъявляться требования повышенной точности измерений до 1–2 мм.

Исходя из вышесказанного можно заключить, что необходимо сопоставлять достигаемые параметры точности при заданной конфигурации лазерной измерительной системы с предъявляемыми нормативными ограничениями на погрешность измерений. Дальнейшее улучшение характеристик точности измерительных систем возможно за счет про-

ТАБЛИЦА
Характеристики некоторых лазерных дальномеров
TABLE
Characteristics of some laser range finders

№	Модель дальномера Measuring instrument model	Диапазон измерений, м Measuring range, m	Точность измерения, ± мм Measurement accuracy, ± mm	Ориентировочная стоимость, тыс. руб. Estimated cost, ×10 ³ russian ruble
1	Dimetix FLS-C10	0,05-65	0,8 (режим увеличенной точности - команда настройки sNuc+0+2) 1,0 (обычный режим)	79,5
2	Leica Disto D810	0,1-200	1,0	62,6
3	Bosch GLM 150	0,05-150	1,0	15,3
4	Condrol XP1	0,15-50	1,5	4,2
5	Bosch PLR 25	0,05-25	2	3,75
6	Condrol Smart 20	0,2-20	3	2,0
7	Condrol Infiniter 30	0,05-30	5	1,99

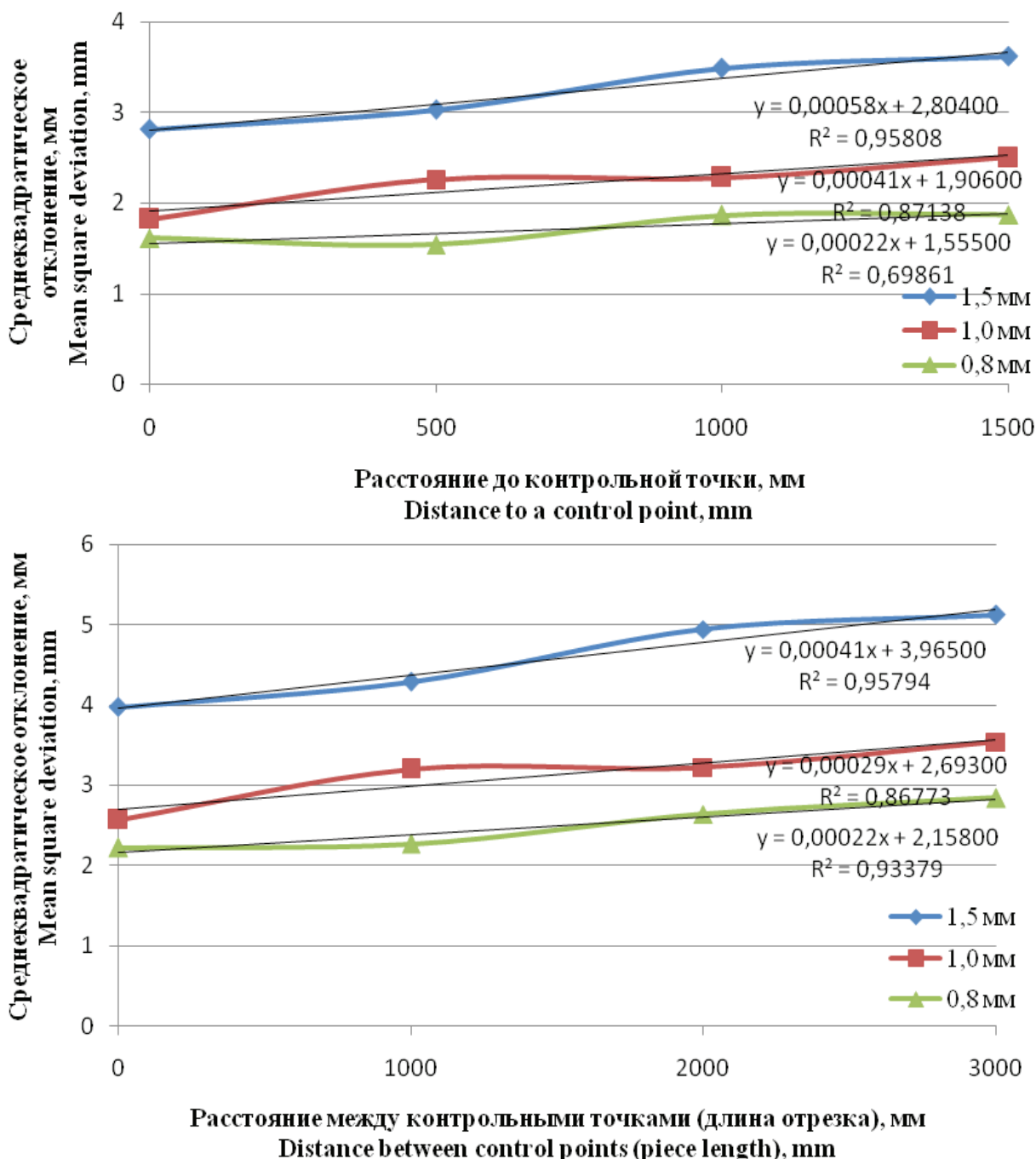


Рисунок 4 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения расстояния между контрольными точками от паспортной погрешности лазерных дальномеров

The figure 4 – Dependence of the mean square error of distance measurement between control points from the passport error of laser range finders

грессивного снижения погрешности лазерных дальномеров в результате их технического совершенствования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дамшен К. Ремонт автомобильных кузовов. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2007. 240 с.

2. Real-Moreno O., Rodriguez-Quinonez J.C., Hernandez-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Sergiyenko O., Rivas-Lopez M., Basaca-Preciado L.C. Accuracy Improvement in 3D Laser Scanner Based on Dynamic Triangulation for Autonomous Navigation System. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 26. Ser. "Proceedings - 2017 IEEE International Symposium

on Industrial Electronics, ISIE 2017", 2017, pp. 1602-1608. DOI: 10.1109/ISIE.2017.8001486.

3. Borecki M., Prus P., Korwin-Pawlowski M.L., Rychlik A., Kozubel W. Sensor Set-Up for Wireless Measurement of Automotive Rim and Wheel Parameters in Laboratory Conditions. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Ser. "Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017", 2017, pp. 1044569. DOI: 10.1117/12.2280970.

4. Li X.-Q., Wang Z., Fu L.-H. A Laser-Based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block. Sensors, 2016. vol. 16, no 11, p. 1877. DOI: 10.3390/s16111877.

5. S. Mohammad Mousavi G., Davood Younesian, Mehran Torabi. A High Accuracy Imaging and Measurement System for Wheel Diameter Inspection of Railroad Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018 (Early Access), p. 1 – 1. DOI: 10.1109/TIE.2018.2803780.

6. Xu Zewei, Peng Jieru, Chen Xianqiao. A method for vehicle three-dimensional size measurement based on laser ranging. 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), IEEE Conferences, 2015, pp. 34 – 37. DOI: 10.1109/ICTIS.2015.7232075.

7. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of the Main Coordinates of the Car with Two-Level Spring Suspension. International Journal of Applied Engineering Research, 2016, vol. 11, no 20, pp. 10367-10373. Режим доступа: http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n20_52.pdf.

8. Liangliang Yang, Yohei Hoshino, Soichiro Suzuki, Ying Cao. Calibration of an auto-steering system using a line-type laser and a camera without necessary of running the vehicle. 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2016, pp. 586 – 591. DOI: 10.1109/SII.2016.7844062.

9. Ho-Hsing Hsieh, Chi-Yao Hsu, Po-Yu Ke, Guang-Sheen Liu, Chih-Ping Lin. Applying Lidar-based obstacle detection and wireless image transmission system for improving safety at level crossings. 2015 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), IEEE Conferences, 2015, pp. 363 – 367. DOI: 10.1109/CCST.2015.7389711.

10. Lindner L., Sergiyenko O., Rivas-López M., Hernández-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Rodríguez-Quirón J.C., Ivanov M., Tyrsa V., Murieta-Rico F.N., Básaca-Preciado L.C. Exact Laser Beam Positioning for Measurement of Vegetation Vitality. Industrial Robot, 2017, vol. 44, no. 4, pp. 532-541. DOI: 10.1108/IR-11-2016-0297.

11. Malik T., Burachek V., Bryk Ya. Method Automatic Geodetic Total Control Deformation

of Engineering Structures. Technical Sciences and technologies, 2016, no 1 (3). pp. 145-152. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_27511623_64211709.pdf.

12. Shih-Jer Huang, Chien-Chang Tsai. Vehicle lane detection and following based on vision system and laser scanner. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICA-SI), IEEE Conferences, 2017, pp. 1446 – 1449. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988188.

13. Sun Peng, Wang Xinhua, Yang Yurong. Real-Time Onboard Mapping and Localization of an Indoor MAV Using Laser Range Finder. 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), IEEE Conferences, 2017, pp. 1612 – 1617. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336.

14. Guo J., Wu T., Liang Z., Wang Y., Han J. High Precision Absolute Distance Measurement with the Fiber Femtosecond Optical Frequency Comb. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7, New Century, New Technology and New Development. Ser. "Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements", 2016, p. 99031L. DOI: 10.1117/12.2212626.

15. Yatsenko I.V., Antonyuk V.S., Hordienko V., Kyrychenko O.V., Kholin V.V. Improvement of Metrological Specifications of Impulse Laser Rangefinders by Finishing Electron Ray Processing of Their Optical Elements. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування, 2016, no 52 (2). pp. 52-58. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_29735841_46758553.pdf.

16. Guo Ming, Dong Shuzhuang, Sheng Xinwang, Cheng Cai, Pan Deng. Research on calibration technology of vehicle laser scanning system. 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE Conferences, 2017, pp. 2889 – 2893. DOI: 10.1109/CompComm.2017.8323060.

17. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Анализ и синтез лазерных систем контроля геометрических параметров транспортных средств. Вестник СибАДИ: научный рецензируемый журнал. 2010. № 2 (16). С. 8—13. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_17888738_26193520.pdf.

18. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Лазерные системы контроля геометрических параметров АТС. Автомобильная промышленность. 2010. № 8. С. 30–32.

19. Блянкинштейн И.М., Валиханов М.М., Кашура А.С. Алгоритм метода исследования погрешностей измерения геометрических

параметров АТС 3D-системами. Автомобильная промышленность. 2009. № 11. С. 31–35.

20. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Алгоритмические нюансы исследования погрешностей измерения координат контрольных точек транспортных средств. Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. Иркутск: 2014. № 2 (85). С. 149-153. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_21249452_42241799.pdf.

21. Gratton S., Lawless A., Nichols N. Approximate Gauss–Newton Methods for Non-linear Least Squares Problems. SIAM Journal on Optimization, 2017, pp. 106-132. DOI: 10.1137/050624935.

REFERENCES

1. Damshen K. Repair of automobile bodies. Moscow, Book publishing house «Za rulem», 2007. 240 p. (In Russian)

2. Real-Moreno O., Rodriguez-Quinonez J.C., Hernandez-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Sergiyenko O., Rivas-Lopez M., Basaca-Preciado L.C. Accuracy Improvement in 3D Laser Scanner Based on Dynamic Triangulation for Autonomous Navigation System. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 26. Ser. "Proceedings - 2017 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2017", 2017, pp. 1602-1608. DOI: 10.1109/ISIE.2017.8001486.

3. Borecki M., Prus P., Korwin-Pawlowski M.L., Rychlik A., Kozubel W. Sensor Set-Up for Wireless Measurement of Automotive Rim and Wheel Parameters in Laboratory Conditions. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Ser. "Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017", 2017, pp. 1044569. DOI: 10.1117/12.2280970.

4. Li X.-Q., Wang Z., Fu L.-H. A Laser-Based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block. Sensors, 2016. vol. 16, no 11, p. 1877. DOI: 10.3390/s16111877.

5. S. Mohammad Mousavi G., Davood Younesian, Mehran Torabi. A High Accuracy Imaging and Measurement System for Wheel Diameter Inspection of Railroad Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018 (Early Access), p. 1 – 1. DOI: 10.1109/TIE.2018.2803780.

6. Xu Zewei, Peng Jieru, Chen Xianqiao. A method for vehicle three-dimensional size measurement based on laser ranging. 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), IEEE Conferences, 2015, pp. 34 – 37. DOI: 10.1109/ICTIS.2015.7232075.

7. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of

the Main Coordinates of the Car with Two-Level Spring Suspension. International Journal of Applied Engineering Research, 2016, vol. 11, no 20, pp. 10367-10373. Access mode: http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n20_52.pdf.

8. Liangliang Yang, Yohei Hoshino, Soichiro Suzuki, Ying Cao. Calibration of an auto-steering system using a line-type laser and a camera without necessary of running the vehicle. 2016 IEEE/ SICE International Symposium on System Integration (SII), 2016, pp. 586 – 591. DOI: 10.1109/SII.2016.7844062.

9. Ho-Hsing Hsieh, Chi-Yao Hsu, Po-Yu Ke, Guang-Sheen Liu, Chih-Ping Lin. Applying Lidar-based obstacle detection and wireless image transmission system for improving safety at level crossings. 2015 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), IEEE Conferences, 2015, pp. 363 – 367. DOI: 10.1109/ICCST.2015.7389711.

10. Lindner L., Sergiyenko O., Rivas-López M., Hernández-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Rodríguez-Quinonez J.C., Ivanov M., Tyrsa V., Murrieta-Rico F.N., Basaca-Preciado L.C. Exact Laser Beam Positioning for Measurement of Vegetation Vitality. Industrial Robot, 2017, vol. 44, no. 4, pp. 532-541. DOI: 10.1108/IR-11-2016-0297.

11. Malik T., Burachek V., Bryk Ya. Method Automatic Geodetic Total Control Deformation of Engineering Structures. Technical Sciences and technologies, 2016, no 1 (3). pp. 145-152. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_27511623_64211709.pdf.

12. Shih-Jer Huang, Chien-Chang Tsai. Vehicle lane detection and following based on vision system and laser scanner. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), IEEE Conferences, 2017, pp. 1446 – 1449. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988188.

13. Sun Peng. Wang Xinhua. Yang Yurong. Real-Time Onboard Mapping and Localization of an Indoor MAV Using Laser Range Finder. 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), IEEE Conferences, 2017, pp. 1612 – 1617. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336.

14. Guo J., Wu T., Liang Z., Wang Y., Han J. High Precision Absolute Distance Measurement with the Fiber Femtosecond Optical Frequency Comb. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7, New Century, New Technology and New Development. Ser. "Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements", 2016, p. 99031L. DOI: 10.1117/12.2212626.

15. Yatsenko I.V., Antonyuk V.S., Hordienko V., Kyrychenko O.V., Kholin V.V. Improvement

of Metrological Specifications of Impulse Laser Rangefinders by Finishing Electron Ray Processing of Their Optical Elements. Bulletin of National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ser. Instrument, 2016, no 52 (2). pp. 52-58. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_29735841_46758553.pdf.

16. Guo Ming, Dong Shuzhuang, Sheng Xingwang, Cheng Cai, Pan Deng. Research on calibration technology of vehicle laser scanning system. 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE Conferences, 2017, pp. 2889 – 2893. DOI: 10.1109/CompComm.2017.8323060.

17. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Analiz i sintez lazernykh sistem kontrol'ia geometricheskikh parametrov transportnykh sredstv [Analysis and synthesis of laser monitoring systems of vehicle geometrical parameters]. Vestnik SibADI, 2010, no 2 (16), pp. 8-13. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_17888738_26193520.pdf. (In Russian)

18. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Lazernye sistemy kontrolya geometricheskikh parametrov ATS [Laser monitoring systems of vehicles geometrical parameters]. Avtomobil'naya promyshlennost', 2010, no 8, pp. 30-32. (In Russian)

19. Blynkinshtein I.M., Valikhanov M.M., Kashura A.S. Algoritmi i metodika issledovaniya pogreshnostej izmereniya geometricheskikh parametrov ATS 3D-sistemami [Algorithm and technique of probe of errors in measurement of vehicles geometrical parameters in «3D»-systems]. Avtomobil'naya promyshlennost', 2009, no 11, pp. 31-35. (In Russian)

20. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Algoritmicheskie nyuansy issledovaniya pogreshnostej izmereniya koordinat kontrol'nykh toчек transportnykh sredstv [Algorithmic nuances of studying measurement errors of vehicle control points coordinates]. Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta, 2014, no 2 (85), pp. 149-153. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_21249452_42241799.pdf. (In Russian)

21. Gratton S., Lawless A., Nichols N. Approximate Gauss-Newton Methods for Non-linear Least Squares Problems. SIAM Journal on Optimization, 2017, pp. 106-132. DOI: 10.1137/050624935.

Поступила 30.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Асхабов Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: ashabovam@mail.ru).

Воеводин Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: ves_1981@mail.ru).

Зеер Владимир Андреевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры транспортных и транспортно-технологических машин СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Кашура Артем Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: arka-23@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey M. Askhabov – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: ashabovam@mail.ru).

Evgeniy S. Voevodin – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: ves_1981@mail.ru).

Vladimir A. Zeer – candidate of technical science, associate professor, Head of the Transport and Transport-Technological Machines Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Artem S. Kashura – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: arka-23@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Авторы заявляют о равном участии в получении и оформлении научных результатов и в равной мере несут ответственность за плагиат.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Authors announce equal participation in receiving and registration of scientific results and equally bear responsibility for plagiarism.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРАНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ В КАБИНЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ МАШИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Н.М. Филькин, А.М. Татаркин

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной статье рассматривается проблема конденсации влаги внутри кабины машины технологического электротранспорта. Обосновывается гипотеза на том, что данную проблему можно решить, используя принудительную вентиляцию воздуха в кабине.

Материалы и методы. В статье затрагивается тема применения программного комплекса ANSYS Fluent для оценки влияния расположения и формы воздухопроводов на процесс вентиляции внутри кабины. Рассматриваются ключевые этапы моделирования воздушного потока в данной программе.

Результаты. Основное содержание исследования составляет анализ полученных результатов моделирования воздушного потока в кабинах с различной конфигурацией впускных и выпускных патрубков. На основании анализа полученных контуров скоростей воздушных потоков делается вывод о рациональном расположении впускных и выпускных каналов.

Обсуждение и заключение. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований, которые будут направлены на создание трехмерной модели кабины с учетом полученных в ходе исследования результатов, её испытание, а также анализ примененных решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конденсация влаги, вентиляция, электротранспорт, компьютерное моделирование, ANSYS, кабина, оптимальное проектирование, рациональное расположение.

© Н.М. Филькин, А.М. Татаркин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

NUMERICAL RESEARCH OF THE MOISTURE CONDENSATION ELIMINATION IN THE CABIN OF THE UNIFIED TECHNOLOGICAL ELECTRIC TRANSPORT VEHICLE

N.M. Filkin, A.M. Tatarkin

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *This article deals with the problem of moisture condensation inside the cabin of the technological electric transport vehicle. The hypothesis of using the forced air ventilation in the cabin is substantiated, by which such problem could be solved.*

Materials and methods. *The article describes the application of the ANSYS Fluent Software Package to assess the effect of the location and shape of the ducts on the ventilation process inside the cabin. Accordingly, the key stages of air flow modeling in this program are considered.*

Results. *The main content of the research is to analyze the modeling airflow process in the cabins with a different configuration of inlet and outlet nozzles. Therefore, basing on the analysis of the obtained airflow velocity contours, the conclusion is made about the rational arrangement of the inlet and outlet channels.*

Discussion and conclusions. *The conclusion is made about the necessity of the further research that would refer to creating a three-dimensional model of the cabin. The results of the research as well as resolutions are taken into account.*

KEYWORDS: *condensation of moisture, ventilation, electric transport, computer modeling, ANSYS, cabin, optimal design, rational arrangement.*

© N.M. Filkin, A.M. Tatarkin



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе проектирования унифицированной машины технологического электротранспорта с кабиной закрытого типа возникла проблема с конденсацией влаги. Заключается данная проблема в том, что при нахождении человека внутри кабины начинает конденсироваться влага на внутренних поверхностях, и это в дальнейшем приводит к критическому ухудшению обзора с места водителя и к уменьшению срока эксплуатации транспортного средства.

Чтобы устранить данную проблему, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ проблемы, связанной с конденсацией влаги в различных областях науки и техники.
2. Выявить причины возникновения конденсации в кабине.
3. Предложить решения, позволяющие снизить интенсивность конденсации, либо вовсе устранить данное явление.

В работе [1] автор ссылается на расчеты, которые показывают, что кратность воздухообмена в помещении должна быть 2,2 из условий борьбы с влагой и 3,3 из условий борьбы с CO_2 . Стоит отметить, что условия расчета данных величин даны для зимнего периода.

Также в СП¹ и ТР² для жилых помещений, исходя из санитарно-гигиенических норм, на одного человека необходимо минимум 30 м³/ч, а для общественно-бытовых зданий полагается подавать 40 м³/ч.

Учитывая представленные выше данные, конструкцию кабины (закрытая конструкция с невысокой естественной вентиляцией и отсутствие принудительной вентиляции) и выводы, сделанные в работах [2, 3, 8, 9], причинами конденсации влаги на внутренних поверхностях кабины являются:

- повышение относительной влажности воздуха (дыхание водителя и пассажира, испарение с обуви и одежды) приводит к повышению температуры точки росы;
- разница температур воздуха внутри кабины и воздуха снаружи приводит к тому, что температура стенок и стекла кабины ниже точки росы, и начинается процесс конденсации влаги.

Проблему с повышением относительной влажности можно решить одним из следующих способов:

- установкой осушителя воздуха;
- созданием избыточной вентиляции более сухого воздуха;

- добавлением абсорбера влаги в кабину.

Температуру точки росы можно изменить следующими способами:

- понижением температуры внутри кабины, вследствие чего разность между температурами снаружи и внутри уменьшится, и конденсация влаги будет происходить при более высоком значении относительной влажности;
- повышением температуры ограждения, что также приведёт к смещению температуры точки росы.

Учитывая условия, создаваемые внутри кабины, и ограниченность в использовании приборов мощностью более 300 Вт, наиболее оптимальное решение заключается в том, чтобы установить устройство дополнительной подачи наружного воздуха.

Приведенные расчеты в работе [1] показывают, что кратность воздухообмена на одного человека из условий борьбы с влагой составляет 2,2. Но так как расчет сделан для помещения с общим объемом в 60 м³, то, следовательно, на одного человека необходимо 132 м³. На основе этих данных можно предположить, что в критической ситуации, когда в кабине будут находиться 2 человека, необходимо 264 м³ свежего воздуха в час.

Необходимой производительностью обладают вентиляторы отопителей салона отечественных автомобилей, подача в которых составляет приблизительно 360 м³/ч.

Для нахождения оптимального расположения каналов подачи и удаления воздуха применяем программный модуль ANSYS Fluent, который позволяет моделировать течения жидкостей и газов с учетом турбулентности и теплообмена. Данный модуль подходит для выполнения поставленных перед нами задач, кроме того, используя данный подход, существенно сокращаются временные и денежные затраты.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для того чтобы начать моделирование в программном продукте ANSYS, необходимо создать геометрию во встроенном модуле Geometry. Для упрощения расчетов на данном этапе было принято решение использовать упрощенные 2D модели кабины с различным

¹ СП 23-101-2004. Группа Ж24, ОКС 91.120.01. Дата введения 2004-06-01, ПРИЛОЖЕНИЕ Р (справочное).

² ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома. М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.

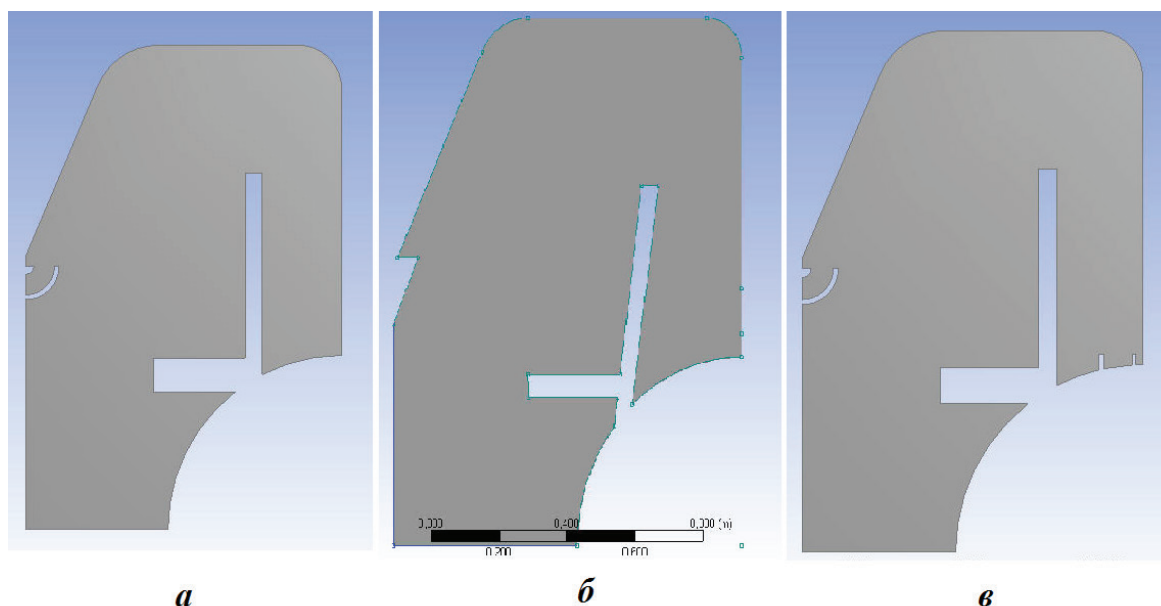


Рисунок 1 – Упрощенные 2D модели кабины закрытого типа унифицированной машины технологического электротранспорта: а – воздух подается через коленообразный канал на лобовое стекло, удаляется через отверстия в задней стенке; б – воздух подается вдоль лобового стекла, через прямой канал, а удаляется через отверстия в задней стенке; в – воздух подается через коленообразный канал на лобовое стекло, удаляется через отверстия в задней и нижней стенках

Figure 1 – Simplified 2D models of a closed-type cabin of the unified technological transport vehicle:
a – air is fed through the knee-shaped channel to the windshield, and is removed through the channel in back wall;
b – air is fed along the windshield, through a straight channel, and is removed through the channels in back wall;
c – air is fed through the knee-shaped channel to the windshield, and is removed through the channels in back and bottom walls

расположением воздушных каналов³ [7]. Данные модели представлены на рисунке 1.

После создания геометрических моделей необходимо сгенерировать расчетную сетку и задать граничные условия для воздушных каналов. Данные операции производятся во встроенном модуле MESH. На рисунке 2 изображен результат описанных выше операций.

Сгенерировав расчетную сетку, мы получили около 6 500 ячеек для каждой из моделей. В дальнейшем, проверив в программном модуле ANSYS Fluent параметры сгенерированной сетки, получили положительное значение минимальной площади ячейки и значение ортогональности ячеек в пределах 0,5. Нами были использованы рекомендации по оценке качества расчетной сетки, приведённые в работе [4]. Шкала оценки данного параметра лежит от 0 до 1. Чем ближе значение параметра к 1, тем выше точность сгенерированной сетки. На

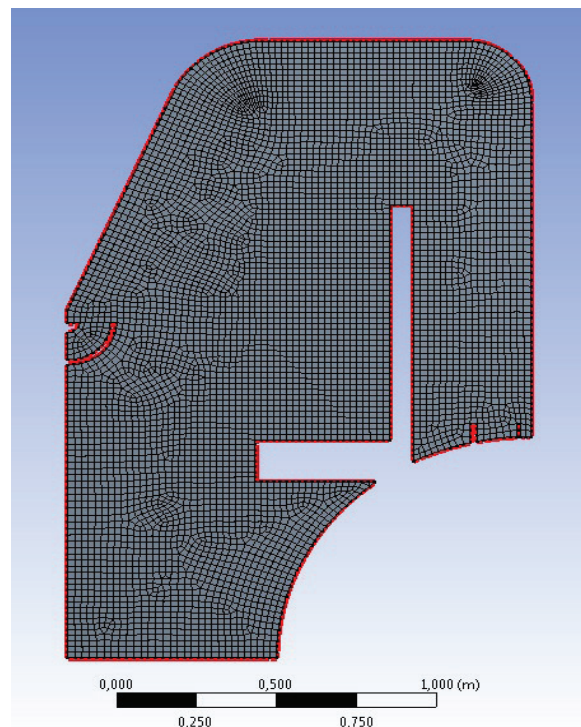


Рисунок 2 – Расчетная сетка кабины закрытого типа унифицированной машины технологического электротранспорта

Figure 2 – Calculated grid for closed-type cabin of the unified technological transport vehicle

³ Фролов М.М., Филькин Н.М., Матвеев Д.В. Анализ внутренней газодинамики системы отопления и вентиляции легкового автомобиля // Межвузовский научный сборник № 7 «Проектирование и исследование технических систем». Набережные Челны: Камский государственный политехнический институт, 2005. С. 51-59.

основании данных параметров можно сделать вывод о том, что сгенерированная сетка подходит для нашего предварительного анализа.

После анализа качества сгенерированной сетки необходимо задать параметры решателя (Solution Setup):

- во вкладке General выбираем Pressure-based type (задача будет решаться по уравнениям, основанным на давлении), Transient time (задача будет решаться с шагом времени 0,05 сек, всего в расчете 100 шагов), Velocity Formulation Absolute (значения скорости будут отображаться в абсолютной форме);

- модель турбулентности стандартная k-epsilon, так как в данной модели учтено влияние турбулентной кинетической энергии, а также ее диссипация за счет вязкости среды, более подробную информацию можно получить в работах [5, 6] и в лекциях⁴;

- в качестве газа был выбран воздух;

- в граничных условиях (зона подачи и удаления воздуха) заданы параметры подачи воздуха со скоростью 20 м/с (площадь воздуховода 0,005 м²) и свободное удаление воздуха;

- расчет осуществлялся при постоянном значении температуры (стандартные условия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении расчетов с заданными параметрами были получены следующие результаты:

1. На рисунке 3 мы видим, что воздушный поток имеет максимальную скорость в области лобового стекла и в дальнейшем направляется вдоль верхней части кабины, однако из-за расположения отвода можно увидеть завихрения, которые мешают нормальному удалению воздуха.

2. На рисунке 4 изображен воздушный поток в кабине второй конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха снизилась с 31 до 23 м/с, данное изменение можно объяснить тем, что изменилась площадь сечения подающего канала и его форма. Также можно заметить, что поток воздуха, возникающий в кабине, имеет небольшие завихрения, но в целом имеет достаточно целостный вид. Можно сделать вывод о том, что форма и расположение каналов в данной конфигурации не оказывают отрицательного влияния на вентиляцию внутри кабины.

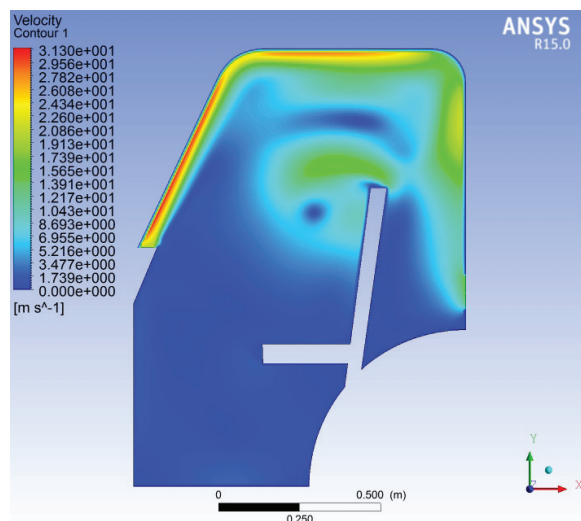


Рисунок 3 – Контур скорости воздушного потока первой конфигурации кабины

Figure 3 – Airflow velocity contour in the cabin of the first configuration

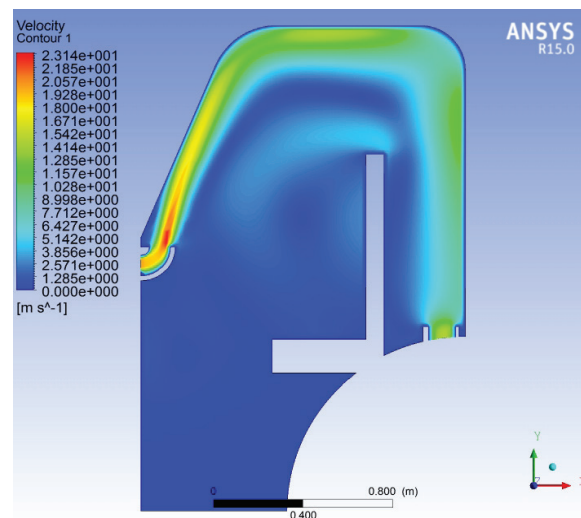


Рисунок 4 – Контур скорости воздушного потока второй конфигурации

Figure 4 – Airflow velocity contour in the cabin of the second configuration

3. На рисунке 5 изображен воздушный поток в кабине третьей конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха увеличилась по сравнению с предыдущим результатом и составляет приблизительно 28 м/с. Данное изменение объясняется тем, что изменилась площадь сечения отводного канала и его расположение. Также можно заметить, что поток воздуха, возникающий в кабине, имеет много сильных завихрений. Можно сделать вывод о том, что форма и расположение каналов в данной конфигурации оказывают отрицательное влияние на воздухообмен внутри кабины.

⁴ Фрик, П.Г. Турбулентность: Модели и подходы// Курс лекций. – Часть I. – Пермь: ПГТУ, 1998. 108 с

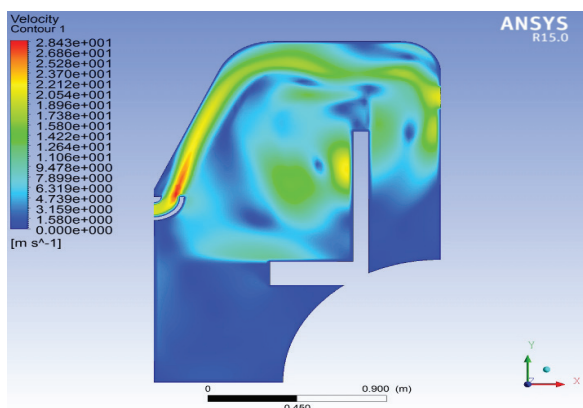


Рисунок 5 – Контур скорости воздушного потока в кабине третьей конфигурации

Figure 5 – Airflow velocity contour in the cabin of the third configuration

4. На рисунке 6 изображен воздушный поток в кабине четвертой конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха существенно не изменилась, из чего делается вывод о том, что наличие второго отвода воздуха не оказывает влияние на данный параметр. Поток воздуха, возникающий в кабине, существенно изменился и в целом имеет достаточно целостный вид. Так как результаты, полученные при моделировании воздушного потока в кабине второй конфигурации, схожи, то можно сделать вывод о том, что наличие дополнительного отводного канала на задней стенке является малоэффективным.

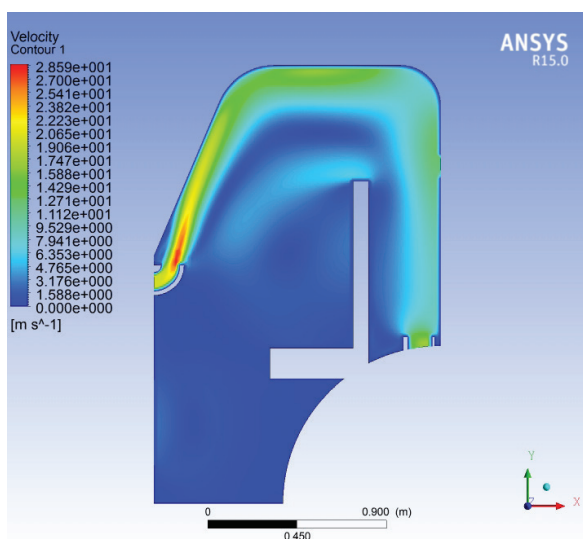


Рисунок 6 – Контур скорости воздушного потока в кабине четвертой конфигурации

Figure 6 – Airflow velocity contour in the cabin of the fourth configuration

5. На рисунке 7 изображен воздушный поток в кабине пятой конфигурации. Исходя из полученного контура скорости можно увидеть, что максимальная скорость воздуха существенно не изменилась, из чего делается вывод о том, что при расположении отвода воздуха ниже линии подвода воздуха оказывает более существенное влияние на данный параметр, чем наличие двух отводов на разных уровнях. Полученный поток воздуха имеет достаточно целостный вид. Так как результаты, полученные при моделировании воздушного потока в кабине второй и четвертой конфигурации, имеют закономерности, то можно сделать вывод о положительном влиянии на воздухообмен расположения канала отвода воздуха на боковой стенке ниже уровня канала подвода воздуха.

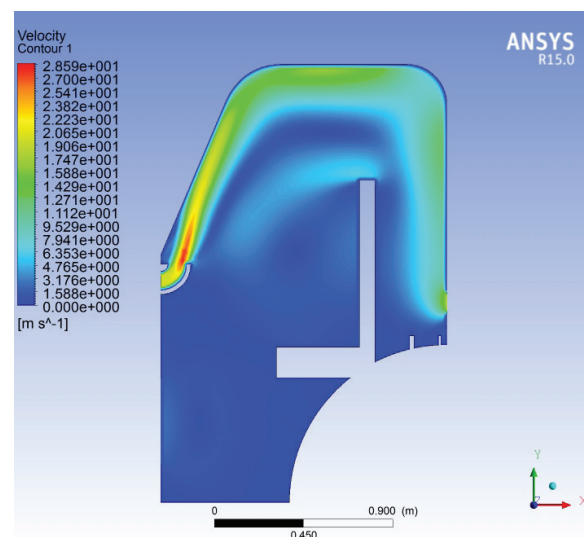


Рисунок 7 – Контур скорости воздушного потока в кабине пятой конфигурации

Figure 7 – Airflow velocity contour in the cabin of the fifth configuration

6. На рисунках 8 и 9 изображены контуры скорости воздушных потоков в кабине шестой и седьмой конфигураций. Основным отличием от предыдущих конфигураций является изменение формы впускного канала. Добавлен отвод воздуха к полу кабины. Исходя из полученных контуров скоростей можно увидеть, что максимальная скорость воздуха снизилась, так как увеличилась площадь впускного канала. Также можно заметить значительное снижение интенсивности и площади обдува крыши кабины, это произошло за счет отвода воздушного потока в нижнюю часть кабины. Снижение интенсивности и площади обдува областей лобового стекла, крыши и задней

стенки отрицательно повлияет на удаление влаги с данных поверхностей.

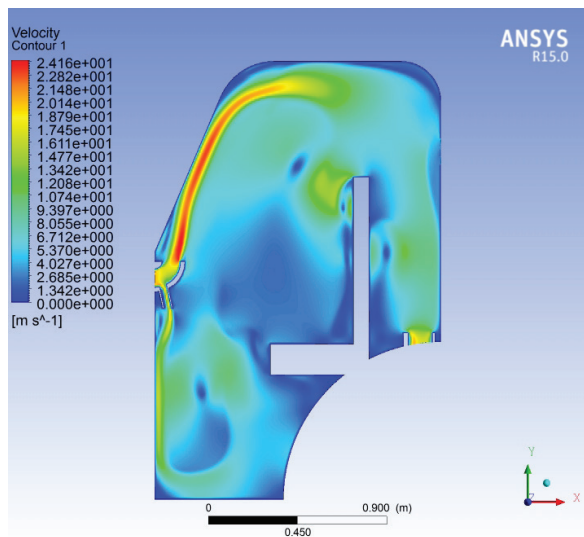


Рисунок 8 – Контур скорости воздушного потока в кабине шестой конфигурации

Figure 8 – Airflow velocity contour in the cabin of the sixth configuration

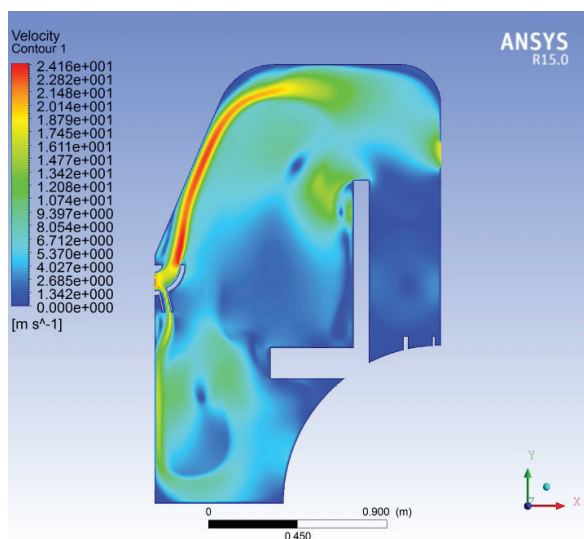


Рисунок 9 – Контур скорости воздушного потока в кабине седьмой конфигурации

Figure 9 – Airflow velocity contour in the cabin of the seventh configuration

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных результатов моделирования упрощенной 2D модели кабины закрытого типа и проведенного анализа оптимальной конфигурацией для дальнейших исследований является пятая конфигурация кабины. Так как высокая интенсивность обду-

ва областей лобового стекла крыши и задней стенки, а также равномерность полученного потока, с наибольшей эффективностью позволит добиться снижения интенсивности конденсации или вовсе устранить данное явление.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание трехмерной модели кабины, с учетом полученных в данной работе результатов и рекомендаций, её расчетные исследования с целью реализации разработанной конструкции в опытном образце машины.

Статья профинансирована из средств субсидии из федерального бюджета с целью реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемого в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013 – 2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0132.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ливчак, И.Ф., Наумов, А.Л. Вентиляция многоэтажных зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 134 с.
2. Измерение скорости испарения с локальной поверхности слоя жидкости под действием потока газа / Люлин Ю.В., Феоктистов Д.В., Афанасьев И.А., Чачило Е.С. и др. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. № 14. С. 1-7.
3. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convection in horizontal liquid layer under shear-strees gas flow// Int. J. Heat Mass Transfer. 2014. Vol. 70. Pp. 599-609.
4. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Applications of ANSYS// Person. 2008. P. 608.
5. Пуанкаре, А. Теория вихрей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 160 с.

6. Sen, A., Srivastava M. Regression Analysis – Theory, Methods, and Applications // Springer-Verlag, Berlin, (4th printing), 2011. P. 281.

7. Матвеев Д.В., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Анализ трехмерного течения воздуха в системе отопления и вентиляции легкового автомобиля численными методами // Вестник Уральского межрегионального отделения российской Академии транспорта № 5. Курган: КГУ, 2005. С. 34-36.

8. Baeder D., Indinger T., Adams N., Unterlechner P. Aerodynamic Investigation of Vehicle Cooling-Drag // SAE Technical Paper 2012-01-0170. 2012.

9. D'Hondt M. Theoretical, Experimental and Numerical Study of the Cooling Airflow and its Effects on the Aerodynamics of Road Vehicles // Engineering Sciences. — Universities Orleans, 2010.

REFERENCES

1. Livchak, I.F., Naumov, A.L. Ventilyaciya mnogoetajnich zdaniy [Ventilation of multi-storey buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2005. 134 p. (In Russian)

2. Lyulin Y.V., Feocktistov D.V., Afanasjev I.A., Chachilo E.S. and others. Izmerenie skorosti ispareniiya s lokalnoy poverchnosti sloya jidcosti pod deistviem potoka gaza [The measurement of evaporation rate from the local surface of the layer under the action of gas-flow] Letters in GTF, 2015, vol. 41, no. 14, Pp. 1-7. (In Russian)

3. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convection in horizontal liquid layer under shear-strees gas flow. Int. J. Heat Mass Transfer, 2014, vol. 70, pp. 599-609.

4. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Applications of ANSYS. Person, 2008, 608 p.

5. Puankare A. Teoria vichrei [Theory of vortices]. Izhevsk, NIC «Regularnaya i chaotisheskaya dinamika», 2000, 160 p. (In Russian)

6. Sen, A. Regression Analysis – Theory, Methods, and Applications. Berlin, Springer-Verlag, 2011. 281 p.

7. Matveev D.V., Umnyashkin V.A., Filkin N.M. Analiz trekhmernogo techeniya vozduha v sisteme otopeniya i ventilyacii legkovogo avtomobilya chislennymi metodami [Analysis of the three-dimensional flow of air in the system of heating and ventilation of the passenger car by numerical methods]. Kurgan, Vestnik Ural'skogo mezhregional'nogo otdeleniya rossijskoj Akademii transporta, no. 5, 2005, pp. 34-36. (In Russian)

8. Baeder D., Indinger T., Adams N., Unterlechner P. Aerodynamic Investigation of Vehicle Cooling-Drag. SAE Technical Paper 2012-01-0170, 2012.

9. D'Hondt M. Theoretical, Experimental and Numerical Study of the Cooling Airflow and its Effects on the Aerodynamics of Road Vehicles. Universities Orleans, Engineering Sciences, 2010.

Поступила 22.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Филькин Николай Михайлович – доктор технических наук, проф. кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова», институт «Современные технологии машиностроения, автомобилестроения и металлургии» в г. Ижевске (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, e-mail: fnm@istu.ru).

Татаркин Андрей Михайлович – аспирант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова», институт «Современные технологии машиностроения, автомобилестроения и металлургии» в г. Ижевске (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, e-mail: alfaprot@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Filkin Nikolai Mikchailovich – doctor of technical science, professor of the Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Institute of Modern Technologies in Mechanical and Automotive Engineering and Metallurgy in Izhevsk ((426069, Izhevsk, 7, Studencheskaya St., e-mail: fnm@istu.ru).

Tatarkin Andrei Mikhailovich – Post-graduate Student of the Department of Automobiles and Metal Working Machinery, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Institute of Modern Technologies in Mechanical and Automotive Engineering and Metallurgy in Izhevsk (426069, Izhevsk, 7, Studencheskaya St., e-mail: alfaprot@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Филькин Н.М. Постановка задачи, участие в анализе результатов расчета, написание вывода, общее руководство работой (вклад 50%).

Татаркин А.М. Разработка геометрических моделей, разработка методики исследования, проведение расчетных исследований, анализ результатов расчета, обоснование оптимальных конструктивных решений (вклад 50%).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Filkin N. M. Statement of the problem, participation in the analysis of calculation results, writing of the conclusion, general management of the work (50% contribution).

Tatarkin A.M. Development of geometric models, development of research methods, calculation research, analysis of calculation results, substantiation of optimal design solutions (50% contribution).

РАЗДЕЛ III.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.7/8
DOI:

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И СТРАТЕГИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ

А.В. Боровик, А.С. Седова

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализируется процесс инновационного развития дорожной отрасли за период 2012–2017 гг. Установлено, что на развитие и обустройство автомобильных дорог в России за 6 лет планируется вложить более 11 триллионов рублей при 6,4 триллионов в 2012–2017 гг. Значительный рост объемов финансирования обуславливает коренное изменение в подходах к планированию инновационного процесса.

Материалы и методы. Установлены основные недостатки в разработке стратегий развития инновационной деятельности в отрасли. Сформулирована проблема, заключающаяся в том, что в разрабатываемых стратегиях отсутствует взаимосвязь между целью, ресурсами и временем. Все производственные системы работают в разных условиях, характеризуются различным уровнем потребления ресурсов и, следовательно, разной эффективностью. Как итог – сложности определения эффективности использования средств, выделяемых на инновационное развитие.

Результаты. Выполненные расчеты на основе производственной функции – цифровой модели предприятий – свидетельствуют о реальной возможности достаточно точного и оперативного прогнозирования результатов производственной деятельности в условиях инновационного процесса.

Обсуждение и заключение. Цифровизация в виде производственной функции является эффективным инструментом управления инновационным процессом, позволяющим повысить обоснованность и эффективность стратегии развития дорожного хозяйства, осуществлять текущий контроль вычислений и оценку точности искомых параметров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВ: стратегия, производственная система, цифровизация, цель, ресурсы, производственная функция, инновационная деятельность.

© А.В. Боровик, А.С. Седова



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

INNOVATIVE ACTIVITY IN THE ROAD SECTOR AND THE STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF SUCH ACTIVITY

A.V. Borovik, A.S. Sedova

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

ABSTRACT

Introduction. The process of innovative development of the road industry for the period 2012-2017 is analyzed in the article. It is proclaimed that for the development and arrangement of Russian roads during 6 years would be invested more than 11 trillion rubles in comparison with 6.4 trillion in 2012-2017. Thus, the significant increase in funding would lead to the fundamental change in the approaches to the planning of the innovation process.

Materials and methods. The main shortcomings in the development of the innovative strategies in industry were demonstrated. The problem that the strategies have no interrelations between the goal, resources and time is formulated. All production systems operate in different conditions and are characterized by different levels of the resources consumption and, consequently, by different efficiency. At the same time, it is very difficult to formulate a goal in the absence of sufficiently accurate predicted performance parameters of production systems.

Results. As a result, it is difficult to determine the effectiveness of the funds allocated for innovative development.

Discussion and conclusion. Digitalization in the form of the production function is an effective management tool to improve the validity and effectiveness of the innovative development strategy in the road sector, to carry out current calculations monitoring and evaluation of the desired parameters accuracy.

KEYWORDS: strategy, production system, digitalization, purpose, resources, production function, innovative activity.

© A.V. Borovik, A.S. Sedova



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений интенсивного развития дорожной отрасли в условиях сложной экономической ситуации, обусловленной санкциями, является активное применение инновационных технологий при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог [1]. Рост численности парка транспортных средств, высокая интенсивность движения транспортных потоков, существенное увеличение уровня загрузки дорог и их значительный износ существенно усложняют эту задачу. Распространение прогрессивных технологий, в том числе и зарубежных, способствует повышению качества дорожно-строительных работ. Значительная стоимость основных дорожно-строительных материалов и современной дорожной техники требует совершенствования системы использования производственных ресурсов в дорожном хозяйстве. Стоящие перед отраслью задачи не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов¹. На развитие и обустройство автомобильных дорог в России за 6 лет планируется вложить более 11 триллионов рублей. В 2012–2017 гг. на эти цели было выделено 6,4 триллиона рублей. Скачок в два раза. Доля автомобильных дорог федерального значения, находящихся в нормативном состоянии в 2012 г. составляла 38,7%, в 2017 г. достигла 77,2%. Состояние местных и региональных дорог должно быть в центре внимания руководства регионов. Стоит важная социальная задача – обеспечить развитие городов повышением деловой активности на основе совершенствования транспортной системы². Выполнение намеченных планов на основе более эффективного использования ресурсов является весьма актуальной задачей.

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ

Основой реализации инновационного процесса в дорожной отрасли является Страте-

гия развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства^{3,4}. Обоим документам присущи общие недостатки. Как правило, под стратегией в производственных системах (ПС) в условиях инновационного развития понимается скоординированный по укрупненным показателям в пространстве и времени план действий, определенным способом обеспечивающий достижение *главной цели* на основе адекватно определенных условий и средств [2].

Рассмотрим формулирование цели в этих двух документах: «Целью инновационной деятельности Федерального дорожного агентства является улучшение потребительских свойств автомобильных дорог, повышение безопасности дорожного движения, снижение затрат на дорожные работы, повышение сроков службы автомобильных дорог и инженерных сооружений, снижение отрицательного воздействия на окружающую среду за счет повышения технологического уровня проектирования, строительства и эксплуатации дорог и искусственных сооружений».

Однако основное правило целеполагания – формулирование цели как желаемого контролируемого результата⁵, а не как процесса [2 с.80]. В приведенной редакции цели есть процессы (улучшение, повышение, снижение и т.д.), но отсутствует контролируемый результат.

Стратегическое управление в производственных системах предполагает: наличие цели; особый способ достижения цели; наличие плана достижения цели; наличие комплекса обеспечения ресурсов; инновационную направленность в качестве способа достижения цели [3].

Если отсутствует конкретная контролируемая цель, то сложно получить эффективный особый способ и план достижения цели и т.д.

Проблема заключается и в том, что в разрабатываемых стратегиях отсутствует взаи-

¹ Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018 «Послание Президента Федеральному Собранию». Электронный ресурс http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/. Дата обращения 30.04.2018.

² Указ Президента РФ «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 1 декабря 2016 года N 642.

³ Стратегия развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства на период 2011–2015. Электронный ресурс <http://standart.gost.ru/g/pkey-14293756561>. Дата обращения 30.04.2018.

⁴ Стратегия развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства на период 2016–2020. Электронный ресурс. <http://sudact.ru/law/rasporiazhenie-rosavtodora-ot-28032016-n-461-r-ob/strategiia-razvitiia-innovatsionnoi-deiatelnosti-federalnogo/>. Дата обращения 30.04.2018.

⁵ Аристотель. Соч. Т.1. М.: Мысль, 1976. С.97.

мосьязь между целью, ресурсами и временем [4, 5]. Все ПС работают в разных условиях, характеризуются различным уровнем потребления ресурсов и, следовательно, разной эффективностью [6]. В то же время формулировать цель весьма сложно при отсутствии достаточно точных прогнозируемых параметров результатов деятельности ПС. Как результат – сложности определения эффективности использования средств, выделяемых на инновационное развитие. Таким образом, круг замыкается.

Целью исследования является численное определение прогнозных результатов производственной деятельности ПС в условиях инновационного развития с учетом реального потребления ресурсов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой успешной инновационной деятельности является соответствующая нормативная база. В ходе реализации Стратегии и Программы по разработке межгосударственных стандартов утверждено 132 межгосударственных стандарта. Благодаря реализации Программы нормативно-технического обеспечения применения композиционных материалов в дорожном хозяйстве на 2012 – 2015 гг. было выполнено 23 НИОКР, по результатам которых подготовлено 14 ОДМ и 1 ГОСТ-Р. В ходе реализации плана мероприятий по внедрению современных требований и методов испыта-

ния органических вяжущих для дорожного хозяйства разработана нормативно-техническая документация. Она позволяет осуществить переход к системе регламентации выбора битумных и полимерно-битумных вяжущих для конкретных природно-климатических условий и транспортной нагрузки и использованию методов объемного проектирования асфальто-бетонных смесей на сети автомобильных дорог федерального значения^{6,7}[7].

Проведенный анализ распределения инновационных технологий по видам работ показывает, что наибольшее количество технологий использовалось при производстве ремонтных работ на автомобильных дорогах и искусственных сооружениях, и к 2017 г. этот показатель достиг 44 % от общего количества внедренных инноваций. Неизменно стабильно осваиваются инновации при капитальном ремонте, однако снизилось применение прогрессивных технологий при реконструкции и новом строительстве автомобильных дорог.

Статистика внедрений свидетельствует о наибольшем использовании прогрессивных технологий при устройстве мостов и путепроводов, в 2017 г. этот показатель составил 25%, немногим потеснив количество внедрений в сфере управления, автоматизации и повышения безопасности дорожного движения – 20%. Более чем в 3 раза увеличилось количество внедренных приборов для диагностики и лабораторных испытаний.

ТАБЛИЦА 1
Распределение инновационных технологий по видам работ, в динамике пяти лет в процентах
TABLE 1
Innovative technologies distribution by types of work, in 5 years dynamics, in percentage

№п/п		2013	2014	2015	2016	2017
1	Строительство	12	8	6	9	7
2	Реконструкция	16	4	6	11	9
3	Капитальный ремонт	28	31	25	29	27
4	Ремонт	36	45	43	38	44
5	Содержание	8	12	20	14	13

⁶ Каталог эффективных технологий, новых материалов и современного оборудования дорожного хозяйства за 2017 г. (включая информацию об их применении органами управления дорожным хозяйством) [Текст] / Отв. ред. А.А. Домницкий // Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации. М.: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2017. 399 с. с илл.

⁷ Итоги работы Федерального дорожного агентства - 2013 года, задачи и перспективы 2014–2015 гг. Электронный ресурс. <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/osnovnye-pokazateli-prognozy/5453>. Дата обращения 30.04.2018.

ТАБЛИЦА 2
Распределение технологий по типам,
в процентах от общего числа инноваций за 2013–2017 гг.
TABLE 2
Technologies distribution by types,
in percentage of the total innovations number for the period 2013-2017

№п/п	Типы инноваций	2013	2014	2015	2016	2017
1	Технологии устройства земляного полотна	14	12	12	6	13
2	Технологии устройства дорожной одежды	30	33	32	30	19
3	Технологии устройства дренажа и водоотвода	7	6	5	13	5
4	Технологии устройства мостов, путепроводов	28	26	27	29	25
5	Технологии управления, автоматизации и повышения безопасности дорожного движения	14	15	14	15	20
6	Приборы для диагностики и лабораторных испытаний	3	3	5	1	10
7	Технологии для оборудования и содержания автомобильных дорог	4	5	5	6	8

Инновационные технологии устройства земляного полотна использовались в 2017 г. на 49 дорожных объектах (см. каталог). Распределение технологий показано на рисунке 1.

Традиционно массовое применение при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог находят геосинтетические материалы, используемые в качестве укрепления откосов на слабых основаниях. Они позволяют повысить устойчивость земляного полотна, увеличить надежность конструкций, прочность и трещиностойкость покрытия, предотвратить размывы насыпи, а следовательно, увеличить срок службы дороги и межремонтные сроки.

При возведении земляного полотна использовались технологии стабилизации грунта, в том числе комплексным вяжущим М40, стабилизатором Underbold, дезинтеграции скальных грунтов выемок с применением шпуровых газогенераторов давления, устройством теплоизолирующих слоев из пенополистироль-

ных плит «Пеноплекс» и гранулированного материала ДиатомИК.

Широкое распространение данных технологий объясняется тем, что процесс использования геосинтетических материалов хорошо изучен дорожными службами и не вызывает ни дополнительных затрат времени, ни других материальных и нематериальных ресурсов.

Новые технологии устройства дорожной одежды применялись на объектах [8, 9, 10]. Распределение технологий показано на рисунке 2.

Наибольшее внимание уделено использованию геосинтетических материалов в слоях дорожной одежды в качестве армирующей прослойки для увеличения срока службы конструкции и межремонтных сроков. Основным направлением при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог является технология регенерации асфальтобетонного покрытия и устройства слоев основания из асфальтогранулобетонной смеси, которое

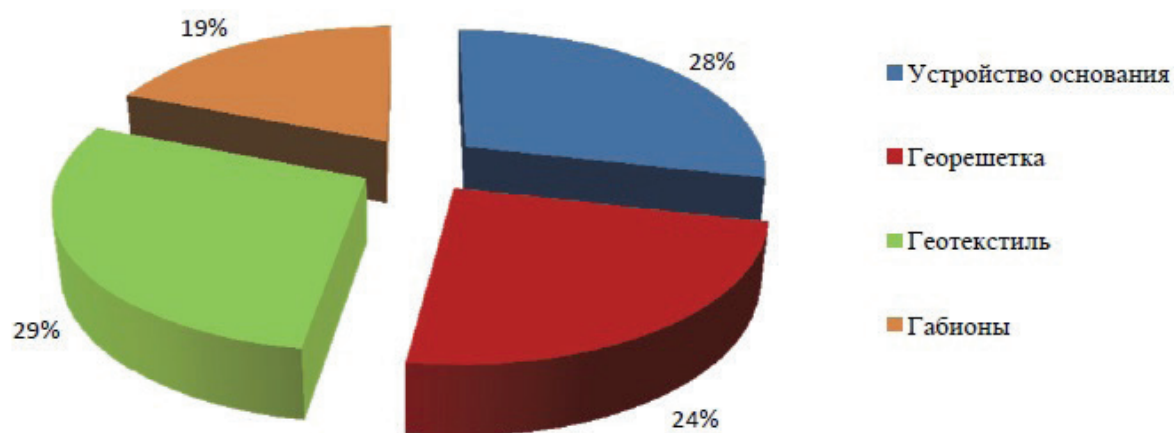


Рисунок 1. Распределение инноваций в технологиях устройства земляного полотна в 2017 г.

Figure 1 – Innovative technologies distribution in the subgrade construction in 2017

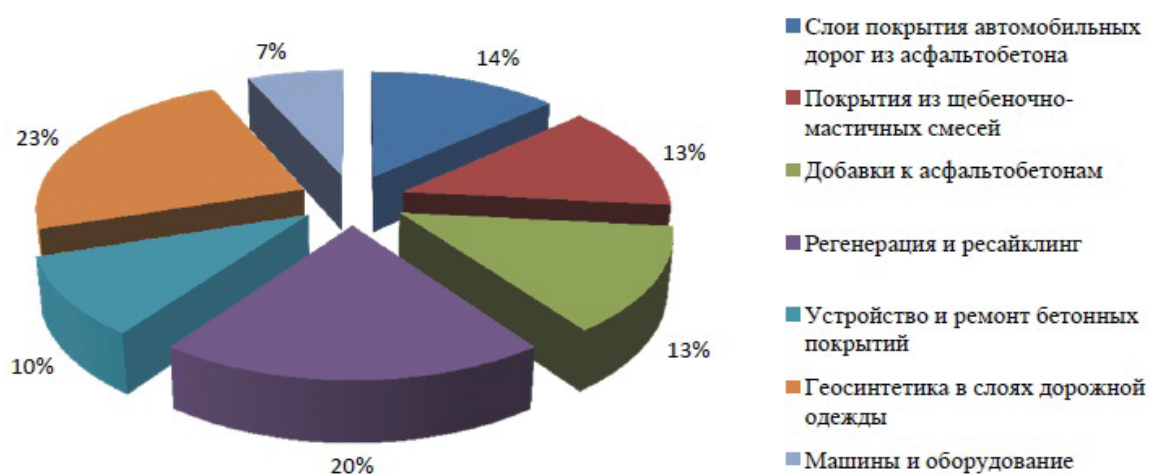


Рисунок 2. Распределение инноваций в технологиях устройства дорожной одежды

Figure 2 – Innovative technologies distribution in the road base construction

обеспечивает снижение затрат на ремонт дорог и сокращение сроков выполнения работ, экономию материалов за счет их повторного использования.

Следует отметить масштабное внедрение асфальтобетонных смесей на полимерно-битумном вяжущем (ПБВ 200, ПБВ 90, ПБВ 60,

ПБВ Алфавит-40), так в 2017 г. 9 федеральных дорожных управлений использовали данную технологию на 25 участках и достигли более высоких эксплуатационных характеристик покрытия. Также применяются щебеночно-мастичные смеси с использованием модификаторов, теплые асфальтобетонные смеси, би-

тумо минеральные смеси и асфальтобетонные смеси^{8,9}.

Среди прогрессивных технологий устройства дренажа и водоотвода можно выделить технологии восстановления водопропускных труб с помощью санации «труба-чулок», устройство системы водоотвода с помощью лотков, раструбов и рассекателей из композиционных материалов.

На мостах, путепроводах и эстакадах наибольшее применение нашли современные материалы для устройства деформационных швов и переходных зон около швов, антикоррозийные и гидроизоляционные материалы, ремонтные смеси, эффективные конструкции буронабивных свай, опорных частей, барьерных ограждений из композиционных материалов.

При обеспечении безопасности дорожного движения преобладающее значение имели прогрессивные технологии освещения автомобильных дорог, технические средства организации дорожного движения с улучшенными свойствами восприятия и эффективные конструкции дорожных ограждений. Кроме этого, широко применялись материалы для дорожной разметки с улучшенными характеристиками износостойкости и световозвращения¹⁰ [11, 12, 13].

Обеспечению заданного уровня эксплуатационного содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них должны способствовать технологии и материалы для всесезонного содержания дорожных покрытий, автоматизированные системы зимнего содержания и новая высокопроизводительная техника, обслуживающая федеральную сеть автомобильных дорог.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты инновационной деятельности в дорожном хозяйстве представлены достаточ-

но широко. Однако о достижении цели, сформулированной в Стратегии,¹¹ судить очень сложно, т.к. отсутствуют параметры, которые позволили бы дать однозначную оценку. Вероятно этот документ можно рассматривать как перечень научно-исследовательских работ, выполненных для дорожного хозяйства.

На наш взгляд, необходимо изменение структуры стратегии, привести её в соответствие с существующими требованиями, предъявляемыми к документам подобного рода, в качестве одного из путей построения такой стратегии может рассматриваться цифровизация на основе статистического анализа деятельности ПС [6, 14]. Известно, что каждая ПС характеризуется индивидуальной, присущей только конкретной ПС использования ресурсов. Рассмотрим, например, ПФ вида (1):

$$Y = C_0 \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}, \quad (1)$$

где Y – расчетный индекс (например, прибыль, объем валового продукта, объем работ и др. в натурально-вещественном или стоимостном выражении); $x_i, i = \overline{1, n}$ – факторы (например, ресурсы), влияющие на Y (в натурально-вещественном или стоимостном выражении); $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ – показатели степени, характеризующие вклад x_i в Y ; C_0 – коэффициент, характеризующий совокупное влияние факторов, не учтенных моделью.

Как видно на рисунке 3, из точки A , характеризующей, например, объемом работ $1Y$, объем работ $2Y$, может быть достигнут в конкретной ПС путем реализации, например, инновационного процесса бесконечным множеством сочетаний ресурсов. В частности, x_1 – основные и оборотные средства, x_2 – затраты на труд. Так, точки B , C и D , показывающие некоторые варианты выхода на достижение объема ра-

⁸ Каталог эффективных технологий, новых материалов и современного оборудования дорожного хозяйства за 2017 г. (включая информацию об их применении органами управления дорожным хозяйством) [Текст] / Отв. ред. А.А. Домницкий // Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации. М.: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2017. 399 с. с илл.

⁹ Итоги работы Федерального дорожного агентства – 2013 года, задачи и перспективы 2014–2015 гг. Электронный ресурс. <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/osnovnye-pokazateli-prognozy/5453>. Дата обращения 30.04.2018.

¹⁰ Итоги работы Федерального дорожного агентства – 2013 года, задачи и перспективы 2014–2015 гг. Электронный ресурс. <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/osnovnye-pokazateli-prognozy/5453>. Дата обращения 30.04.2018.

¹¹ Стратегия развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства на период 2011–2015. Электронный ресурс <http://standartgost.ru/g/pkey-14293756561>. Дата обращения 30.04.2018.

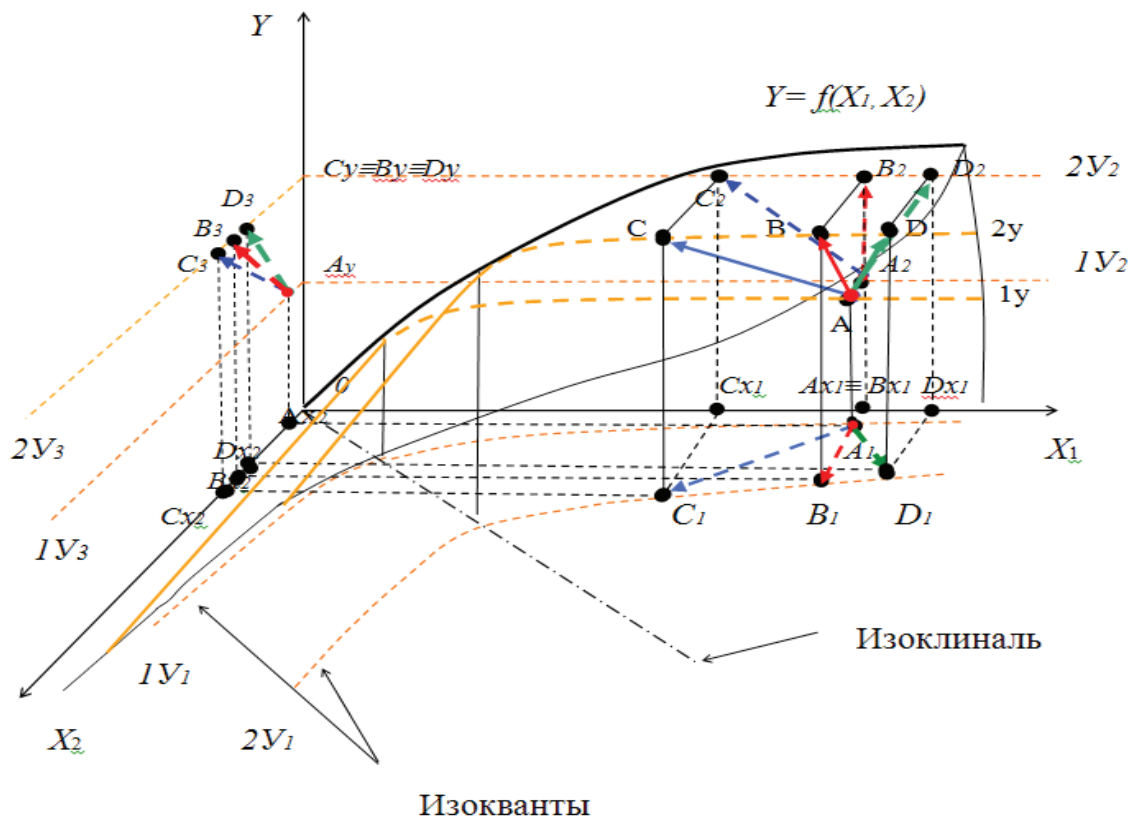


Рисунок 3 – Пространственная модель 3D на основе функции (1), отображающая поверхность стратегии управления, характеризующейся различными сочетаниями потребления ресурсов при перемещении с уровня объема работ 1Y на 2Y

Figure 3 – 3D spatial model based on the function (1) that maps the surface of the control strategy characterized by various combinations of resource consumption while moving from the 1 U work volume to 2U

бот, характеризуемого как 2Y. В зависимости от возможностей ПС, квалификации кадров, качества управления, социальных условий, качества ресурсов, цели ПС, задач и др. выбирается тот или иной вариант использования ресурсов.

Рассмотрим три варианта выхода с 1Y на более высокий уровень 2Y, обеспечиваемый реализацией стратегии управления инновационным процессом. Рассмотрим векторы **AB**, **AC** и **AD**. Каждому из них соответствует свое сочетание использования ресурсов: $Ax_1, Ax_2, Bx_1, Bx_2, Dx_1, Dx_2$. Будем считать оптимальным с математических позиций вариант **AB**, т.к. **AB**⊥2Y (к касательной в точке B) и является кратчайшим расстоянием между 1Y и 2Y от точки A.

Проанализируем ПФ двух ПС:

$$Y_1 = 2,214x_1^{1,234}x_2^{0,987}; \quad Y_2 = 1,123x_1^{0,543}x_2^{0,856}$$

Рассчитаем Y_1 и Y_2 (например объем работ) при условии, что объемы ресурсов в обоих ПС одинаков, т.е. $x_1 = 250$, $x_2 = 110$. (в условных единицах)

Получим $Y_1 = 2,214 \cdot 250^{1,234} \cdot 110^{0,987} = 2,214 \cdot 910,04 \cdot 103,5 = 208535$ (условных единиц у.е.)

$Y_2 = 1,123 \cdot 250^{0,543} \cdot 110^{0,856} = 1,123 \cdot 20,05 \cdot 55,90 = 1259$ (у.е.)

Из результатов расчета видно, что при одинаковых объемах ресурсов в первой ПС может быть выполнен объем работ 208 535 у.е., а во второй ПС только 1 259 у.е. Таким образом, $Y_1 > Y_2$. Разница в объемах прибыли объясняется различной интенсивностью использования производственных ресурсов. В первой

ПС она значительно выше, чем во второй. Так, интенсивность использования основных и оборотных средств в первой ПС составляет 1,234, а трудовых ресурсов 0,987, а во второй ПС 0,543 и 0,856 соответственно. Следует обратить внимание и на коэффициент C_0 – параметр, характеризующий влияние факторов, не учтенных моделью. Это, прежде всего, качественные характеристики, не нашедшие непосредственного отражения в модели. В первой ПС его значение составляет 2,214, а во второй ПС – 1,123.

На основе этого промежуточного вывода реализацию инновационного процесса в ПС нами предлагается рассматривать как алгебраическое введение в её ПФ некоторых дифференциалов $dx_i, i = \overline{1, n}$ относительно соответствующих факторов – x_i (ресурсов) [6]. Такая постановка обусловлена необходимостью осуществлять либо приращение, либо сокращение ресурсов, которое, как правило, сопровождается инновационным процессом.

Допустим, что внедрение новой технологии потребует затрат 20 у.е. Как правило, применение такой технологии в дорожном хозяйстве предполагает использование новых высокопроизводительных машин и механизмов и, следовательно, способствует увеличению потребления оборотных средств (повышению объемов потребления материалов, ГСМ и др.), т.е. увеличению x_1 . Допустим, что увеличение основных оборотных средств сопровождается уменьшением затрат труда – x_2 , например, на 10 у.е. Следовательно, в ПФ необходимо ввести: $+dx_1; -dx_2$.

Новые значения: $x_1 = 270$ у.е., $x_2 = 100$ у.е. Тогда:

$$Y'_1 = 2,214 \cdot 270^{1,234} \cdot 100^{0,987} = 2,214 \cdot 1000,7 \cdot 94,2 = 208\,705 \text{ (у.е.)}$$

$$Y'_2 = 1,123 \cdot 270^{0,543} \cdot 100^{0,856} = 1,123 \cdot 20,90 \cdot 51,5 = 1\,209 \text{ (у.е.)}$$

Затраты, связанные с внедрением новой технологии составили $20 \text{ у} - 10 = 10 \text{ (у.е.)}$.

Однако в первой ПС мы получили прирост объема работ на 170 у.е.: $Y'_1 - Y_1 = (208\,705 - 208\,535 = 170 \text{ (у.е.)}$, а во второй ПС получили снижение на 50 у.е.: $Y'_2 - Y_2 (1\,209 - 1\,259 = -50 \text{ (у.е.)}$

Таким образом, при одинаковых объемах ресурсов и одинаковых затратах на инновационную деятельность в двух различных ПС

получены различные результаты. Внедрение новой технологии не только не привело к увеличению объема работ во второй ПС, но даже вызвало её снижение.

Это можно объяснить и тем, что коэффициент нейтральной эффективности C_0 у второй ПС в два раза меньше, чем у первой. C_0 отражает качество управления, квалификацию кадров, использование рабочего времени, качество ресурсов, климатические условия и др. Интенсивность использования основных, оборотных средств и трудовых ресурсов во второй ПС также значительно ниже, чем в первой ПС. Это видно по коэффициентам эластичности α_i . Следовательно, без повышения значений этих параметров ПФ во второй ПС, путем реализации ряда организационных мероприятий, внедрение отмеченной выше технологии нецелесообразно.

Положительным свойством цифровизация в инновационном процессе, например в виде ПФ, является также возможность осуществления контроля вычислений и оценки точности искомых параметров. Основой вычислений являются статистические данные, характеризующие функционирование ПС во времени, а значит, может быть успешно использован аппарат математической статистики. По мнению акад.П.А. Минакера, весьма ценным качеством ПФ следует признать возможность осуществления контроля вычислений и оценки точности полученных результатов, что позволяет исключить появление грубых ошибок при определении искомых параметров [15]. По нашей оценке ошибка при прогнозировании результатов производственного процесса с помощью ПФ в условиях инноваций не превышает $\pm 10\%$ [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что стоящие перед отраслью задачи не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов.

Установлено, что в стратегиях развития инновационной деятельности отсутствует достаточно четкая взаимосвязь между целью, интенсивностью использования ресурсов и временем, что значительно снижает их ценность.

Установлено, что все производственные системы работают в разных условиях, характеризуются различной интенсивностью по-

требления ресурсов, качеством управления, квалификацией кадров, качеством ресурсов, природных условий и др., следовательно, с разной эффективностью, что не учитывается в современных стратегиях развития инновационной деятельности.

Показано, что формулировать цель весьма сложно при отсутствии достаточно точных прогнозируемых параметров результатов деятельности ПС. Как результат – сложности определения эффективности использования средств, выделяемых на инновационное развитие.

Доказано, что цифровизация, например, в виде ПФ, позволяет вести прогнозные расчеты деятельности производственных систем, позволяет повысить обоснованность и эффективность стратегии инновационного развития дорожного хозяйства, а также осуществлять текущий контроль вычислений и оценку точности искомых параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быстров Н.В. Новый этап развития нормативной базы на дорожный асфальтобетон // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 2. С. 2-6.

2. Боровик В.С. Модернизация дорожно-строительного производства. LAPLA MBERTAcademicPublishingGmbH&Co.KG. Saarbrücken 2011. 292 с.

3. Островская Г.Н. Прогнозирование объема выполняемых работ при оперативном управлении дорожным предприятием на основе выбора приоритетного направления производственной деятельности. Дис. канд. техн. наук: 05.23.11: Волгоград, ВолгГАСУ. 2004. 151 с.

4. Седова А.С., Боровик В.С., Прокопенко Ю.Е. Роль времени при прогнозировании результатов деятельности предприятия в условиях инновационного развития // Известия Вузов, Строительство, Новосибирск, 2008. Вып. 11-12. С.89-93.

5. Borovik V.S., Borovik V.V. Analysis of role of time in the production process in. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №6/10(84).2016. PP 41-48 (Scopus) DOI: 10.15587/1729-4061.2016.86535 .

6. Боровик В.С., Боровик В.В., Прокопенко Ю.Е. Модель управления внедрением новой технологии на основе производственной функции // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 42 (345). С.25-30.

7. Michael J. Clay. Uncertainty analysis of the large zone economic module of the simple, efficient, elegant, and effective model (SE 3 M) of land use and transportation. Transportation Planning and Technology. Aug 2017. P 23.

8. Ярмолинский В.А., Каменчуков А.В. Пути повышения надежности работы автомобильных дорог Дальнего Востока // Наука и техника в дорожном строительстве. 2017. №3. С.14-17.

9. Gaikwad P.G., Prashant P. Nagrale, Nilesh Patil. (2016) Analysis of Time and Cost Overruns in Road Project // Journal of Construction Engineering, Technology & Management, V 6, № 2 (2016) pp. 42-51.

10. Боброва Т.В., Дубенков А.А. Обоснование конструктивных решений земляного полотна на участках автомобильных дорог в условиях криолитозоны // Вестник СибАДИ. 2015. №4. С. 57-64.

11. Сильянов В.В. Пути повышения эффективности управления дорожным движением в мегаполисах // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. №3. С. 1-4.

12. Pisano G.P. You Need an Innovation Strategy. Harvard Business Review. From the June 2015 Issue. <https://hbr.org/2015/06/you-need-an-innovation-strategy> Дата обращения 01.01.2018.

13. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России – проблемы и пути их решения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. №1. С.18-20.

14. Бессонов В.А. Проблемы построения производственных функций в российской переходной экономике. С. 39, 73. [Электронный ресурс]. Режим доступа – http://www.economicus.ru/macroeconomica/readings/Prois_funk.pdf (дата обращения 11.01. 2018).

15. Минакер П.А., Машталер Т.Н., Прокопенко О.М. Предплановое исследование факторов регионального экономического роста // Изв. АН СССР. Сиб. отделение. Сер. общ. наук., 1982. Вып.1. №1.

REFERENCES

1. Bystrov N.V. Novyy etap razvitiya normativnoy bazy na dorozhnyy asfaltobeton [New stage in the development of the regulatory framework of the road asphalt concrete]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli, 2017, no 2, pp. 2-6. (In Russian)

2. Borovik V.S. Modernizatsiya dorozhno-stroitel'nogo proizvodstva [Modernization of the

road construction industry]. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG. Saarbrücken 2011. 292 str. (In Russian)

3. Ostrovskaya G.N. Prognozirovaniye obyema vypolnyayemykh работ pri operativnom upravlenii dorozhnym predpriyatiyem naosнове vybora prioritetnogo napravleniya proizvodstvennoy deyatel'nosti [Forecasting the work volume performed in the operational management of the road company based on the choice of the priority direction of production activities]. Dis. kand. tekhn. nauk. Volgograd. VolgGASU. 2004. 151 p. (In Russian)

4. Sedova A.S., Borovik V.S., Prokopenko Yu.E. Rol vremeni priprognozirovaniy rezultatov deyatel'nosti predpriyatiya v usloviyakh innovatsionnogo razvitiya [Role of time in forecasting the performance of the enterprise in terms of the innovative development]. IzvestiyaVuzov. Stroitel'stvo, 2008, no. 11-12, pp.89-93. (In Russian)

5. Borovik V.S., Borovik V.V. Analysis of the time role in the production process in 4D space// Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. / №6/10(84).2016 PP 41-48 (Scopus) DOI: 10.15587/1729-4061.2016.86535.

6. Borovik V.S., Borovik V.V., Prokopenko Yu.E. Model upravleniya vnedreniyem novoy tekhnologii na osnove proizvodstvennoy funktsii [Model for managing the implementation of the new technology based on the production function]. Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika, 2013, no 42 (345), pp.25-30. (In Russian)

7. Michael J. Clay. Uncertainty analysis of the large zone economic module of the simple, efficient, elegant, and effective model (SE 3 M) of land use and transportation. Transportation Planning and Technology. Aug 2017. P 23.

8. Yarmolinskiy V.A. Kamenchukov A.V. Puti povysheniya nadezhnosti raboty avtomobilnykh dorog Dalnego Vostoka [Ways to improve the reliability of the roads of the Far East]. Nauka i tekhnika v dorozhnom stroitel'stve, 2017, no 3, pp.14-17. (In Russian)

9. Gaikwad P. G. Prashant P. Nagrale. NileshPatil. (2016) Analysis of Time and Cost Overruns in Road Project// Journal of Construction Engineering. Technology & Management. V 6. № 2 (2016) pp. 42-51.

10. Bobrova T.V. Dubenkov A.A. Obosnovaniye konstruktivnykh resheniy zemlyanogo polotna nauchastkakh avtomobilnykh dorog v usloviyakh kryolitozony [Substantiation of structural solutions of the road base on the sections of

highways in the conditions of cryolithozone]. VestnikSibADI, 2015, no 4, pp. 57-64. (In Russian)

11. Silianov V.V. Puti povysheniya effektivnosti upravleniya dorozhnym dvizheniyem v megapolisakh [Ways to improve the efficiency of traffic management in metropolis]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli, 2013, no 3. pp. 1-4. (In Russian)

12. Pisano G.P. You Need an Innovation Strategy. Harvard Business Review. From the June 2015 Issue. <https://hbr.org/2015/06/you-need-an-innovation-strategy> Data obrashcheniya 01.01.2018.

13. Solodkiy A.I. Razvitiye intellektualnykh transportnykh sistem v Rossii – problem i puti ikh resheniya [Development of intelligent transport systems in Russia - problems and solutions]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli, 2017, no 1. pp.18-20. (In Russian)

14. Bessonov V.A. Problemy postroyeniya proizvodstvennykh funktsiy v rossiyskoy perekhodnoy ekonomike. Str. 39. 73. [Problems of building production functions in Russian transition economy]. Available at: http://www.economicus.ru/macroeconomica/readings/Prois_funk.pdf. (Assessed at 11.01. 2018). (In Russian)

15. Minaker P.A., Mashtaler T.N., Prokopenko O.M. Predplanovoye issledovaniye faktorov regionalnogo ekonomicheskogo rosta [Pre-planning study of factors of regional economic growth]. Izv. AN SSSR. Sib. otdeleniye. Ser. obshch. nauk. 1982, no.1, no 1. (In Russian)

Поступила 10.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровик Анастасия Витальевна – студентка Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, 400074, Академическая. 1, e-mail: borovikv@mail.ru).

Седова Анастасия Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, 400074, Академическая. 1).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Borovik Anastasia Vital'evna – student
Volgograd State Technical University (Volgograd,
Russia, e-mail: borovikv@mail.ru).*

*Sedova Anastasia Sergeevna – candidate
of technical science, Associate Professor of the
Construction and Transport Facilities Operation
Department, Volgograd State Technical University
(Volgograd, Russia, e-mail: borovikv@mail.ru).*

ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Боровик А.В. 20%,
Седова А.С. 80%.*

AUTHOR CONTRIBUTIONS

*Borovik A. V. 20% contribution in the research,
Sedova A. S. 80% contribution in the research.*

УДК 625.731.2:624.131.3

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

В.С. Воробьев¹, Е.Л. Карелина¹, О.А. Бендер¹, К.В. Каталымова²

¹ФГБОУ ВО «СГУПС», г. Новосибирск, Россия

²ОАО «Новосибирскавтодор», г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Возросшие технические требования к автомобильным дорогам, связанные с увеличением осевых нагрузок, интенсивности и скорости движения транспортных средств с учетом фактического технического состояния ряда дорог, инженерных сооружений, в том числе водопропускных труб, активизацией федеральных и региональных служб по приведению параметров дорожных покрытий к мировым стандартам ставят задачу разработки методов математического моделирования физико-механических характеристик грунтов в зоне расположения водопропускных труб, позволяющих снизить экономические затраты и время на проведение экспериментальных исследований деформаций по результатам мониторинга грунтов земляного полотна и дорожной одежды.

Материалы и методы. Рассмотрен порядок исследования технического состояния водопропускных труб, дорожной одежды и физико-механических характеристик грунтов, методы и способы экспериментальных исследований. Обоснован подход к проведению опытных работ по проходке шурфов в местах появления деформаций и на незначительном от них удалении. Выполнена оценка состояния грунтов земляного полотна и затрубного пространства водопропускных труб в местах их устройства.

Результаты. Определены модули деформации и упругости, плотность, влажность, консистенция, число пластичности, показатель текучести, производные физических характеристик грунта. Применительно к поставленной задаче исследований определены инженерно-геологические элементы, установлены средние значения плотности, влажности и коэффициента уплотнения, а также получены расчетные значения модулей деформации на основе компрессионных и штамповых испытаний, модуль упругости.

Обсуждение и заключение. Установлена зависимость дефектности дорожного покрытия от физико-механических характеристик грунтов земляного полотна.

По результатам экспериментальных работ выполнен корреляционно-регрессионный анализ характеристик грунтов. Получены уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб и на удалении ± 30 м от них. Установлено, что наблюдаются нарушения ровности покрытия дорожных одежд, вызванные просадками в барьерных местах. С удалением от водопропускных труб улучшаются физико-механические характеристики грунта и повышаются их прочностные характеристики.

Практическое значение. Применение моделей физико-механических характеристик грунта в совокупности с экспериментальными исследованиями позволяет снизить трудозатраты, время и стоимость испытаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильная дорога, водопропускные трубы, земляное полотно, дорожная одежда, физико-механические свойства грунтов, регрессионный анализ.

© В.С. Воробьев, Е.Л. Карелина, О.А. Бендер, К.В. Каталымова



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

STATISTICAL MODELS OF PHYSIC-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROADS IN THE AREA OF CULVERTS

V.S. Vorobyov¹, E.L. Karelina¹, O.A. Bender¹, K.V. Katalymova²

¹Siberian State Transport University

²Open Joint Stock Company "NovosibirskAvtoDor", Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Increased technical requirements for roads, associated with increasing axial loads, the intensity and speed of vehicles, with the actual technical condition of the roads number, engineering structures, including culverts, activation of federal and regional services to bring the parameters of road surfaces to the world standards, all listed parameters pose the task in developing the mathematical modeling methods of physical-mechanical characteristics of soils in the culverts area. Therefore, such methods allow to reduce economic costs and time for carrying out experimental research of deformations based on the monitoring results of the soil roadbed and pavement.

Materials and methods. The order of technical condition of the culverts' research, pavement and physico-mechanical characteristics of soils, methods of experimental research were discussed in the article. Moreover, the approach to carrying out experimental works on penetration of pits in places of deformations and nearby was approved. Additionally, the evaluation of the soils condition on the roadbed and the annular space of the culverts was made.

Results. The schemes of deformation and elasticity, density, humidity, consistency, plasticity number, fluidity, and physical properties of the soil are determined. The engineering-geological elements, mean values of density, humidity and compaction factor are established according to the research aim. Consequently, the values of the strain modules and the modulus of elasticity are calculated on the basis of compression and stamp tests.

Discussion and conclusions. The dependence of the pavement on the physic-mechanical characteristics of the soil of the roadbed is proved. The correlation-regression analysis of soil characteristics is performed on the basis of experimental research. As a result, the regression equations are obtained in the annular space of culverts and at the distance of ± 30 m nearby. As could be proved, there are irregularities in the coverage of road clothes caused by drawdown in barrier locations. The physic-mechanical characteristics of the ground and strength characteristics are increased by culverts' transfer on distance. The application of physic-mechanical characteristics of the soil together with experimental studies makes it possible to reduce labor costs, time and cost of testing.

KEYWORDS: highway, culverts, roadbed, road surfacing, physic-mechanical characteristics of the soil, regression analysis.

© V.S. Vorobyov, E.L. Karelina, O.A. Bender, K.V. Katalymova



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В дорожном комплексе актуальной является проблема обеспечения качества в различных сферах производственной деятельности при реализации проектов на всех этапах жизненного цикла автомобильной дороги от изысканий, проектирования, строительства, содержания до ликвидации [1,2,3]. При этом дорожная отрасль характеризуется широким разнообразием искусственных сооружений, большим разнообразием физико-механических свойств применяемых материалов, свойств грунтов, зависящих от многих факторов, постоянным повышением потребительских качеств дороги в связи с увеличением скоростей и интенсивности движения транспортных потоков, ростом нагрузок на ось, провозной способности [4,5].

Недостатки проектирования и строительства инженерных сооружений, влияние эксплуатационных факторов приводят к большому количеству деформаций и дефектов дорожной одежды и нерациональному удорожанию конструкций и способов производства работ как при строительстве, так и при содержании и реконструкции [6,7,8]. Это относится и к водопропускным трубам, в местах устройства которых в течение циклов «замораживание-оттаивание» и вышеперечисленных факторов возникают неравномерные деформации грунтов, приводящие к деформациям частей труб, снижению их работоспособности и в конечном итоге к деформации дорожной одежды и к нарушению ровности покрытия.

Среди ряда причин, приводящих к деформациям дорожной одежды, и особенно в местах устройства водопропускных труб, значимыми являются недостаточная степень уплотнения грунта при строительстве и образование разуплотненных зон земляного полотна в процессе эксплуатации автомобильной дороги¹ [9, 10, 11]. Поэтому исследования влияния физико-механических характеристик грунтов земляного полотна в местах расположения водопропускных труб являются актуальными.

Цель исследования – установление закономерности между физико-механическими характеристиками грунтов, присущих инженерно-геологическим элементам в зоне расположения водопропускных труб и последующего их применения в аналогичных условиях без

проведения полного объема экспериментальных работ.

В методологическом отношении исследованию деформации дорожной одежды посвящены работы [12,13,14,15,16,17,18]. В зонах водопропускных труб исследование их технического состояния и физико-механических характеристик грунтов целесообразно проводить в следующем порядке:

- визуальное и инструментальное обследование дорожной одежды и водопропускных труб;

- анализ проектной и строительной документации, существующих нормативных документов с учетом специфики природно-климатических и геокриологических условий;

- исследование свойств грунтов с выделением инженерно-геологических элементов;

- проведение корреляционно-регрессионного анализа физико-механических характеристик грунтов автомобильных дорог в зонах расположения водопропускных труб.

Следующим важным этапом является мониторинг состояния водопропускных труб в процессе строительства и в первые годы эксплуатации. Целью мониторинга является выявление дефектов, связанных с состоянием и поведением грунтов в районе трубы, в основании и в теле насыпи.

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе проведения экспериментальных исследований по программе мониторинга установлено влияние плотности грунта земляного полотна на величину деформации дорожных одежд и определены закономерности изменения механических характеристик грунтового массива. Исследования проводились в местах устройства водопропускных труб на автомобильной дороге «К-17р» для решения следующих задач:

1. Сравнение физико-механических характеристик грунтов в местах устройства водопропускных труб и на удалении от них.

2. Определение зависимости комплексного показателя транспортно-эксплуатационного состояния дороги от свойств и состояния грунтов, слагающих земляное полотно насыпи в местах устройства водопропускных труб и на удалении от них.

¹ Пай, В.Э. Составление каталога дефектов земляного полотна и дорожной одежды для назначения восстановительных работ на основе нового подхода: научное издание / В.Э. Пай // Научно-практическая конференция «Неделя науки – 2014. Наука МИИТа – транспорту». – Москва, 2014. – Ч. 1. – С. II/36-II/37.

Для решения этих задач были выполнены визуальные и инструментальные, опытные и лабораторные исследования. Структурная схема выполнения работ приведена на рисунке 1.

В рамках визуальных и инструментальных исследований в соответствии с ОДН 218.0.006-2002² определены показатели ровности покрытия дорожной одежды, выявлены дефекты. Установлено, что на участках автомобильной дороги «К-17р» км 20+226; км 44+194; км 72+365; км 180+742; км 182+400; км 201+083; км 205+500; км 226+800; км 228+500; км 289+200; км 334+812 продольная ровность не обеспечивается. Покрытие автомобильной дороги на перечисленных участках не удовлетворяет требованиям, п. 4.6 табл. 4.7

ОДН 218.0.006-2002 по условиям продольной ровности.

По результатам визуальных исследований определялся комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги (КПд) по методике ОДН 218.0.006-2002.

Опытные работы заключались в проходке шурфов в местах появления деформаций и на незначительном удалении от них, отборе проб грунта нарушенной и ненарушенной структуры; динамическом зондировании грунтов; штамповых испытаниях грунтов статической нагрузкой.

Проходка шурфов и отбор проб грунта нарушенной и ненарушенной структуры осуществлялись в соответствии с ГОСТ 12071–2014³ с целью получения информации о грунтах,

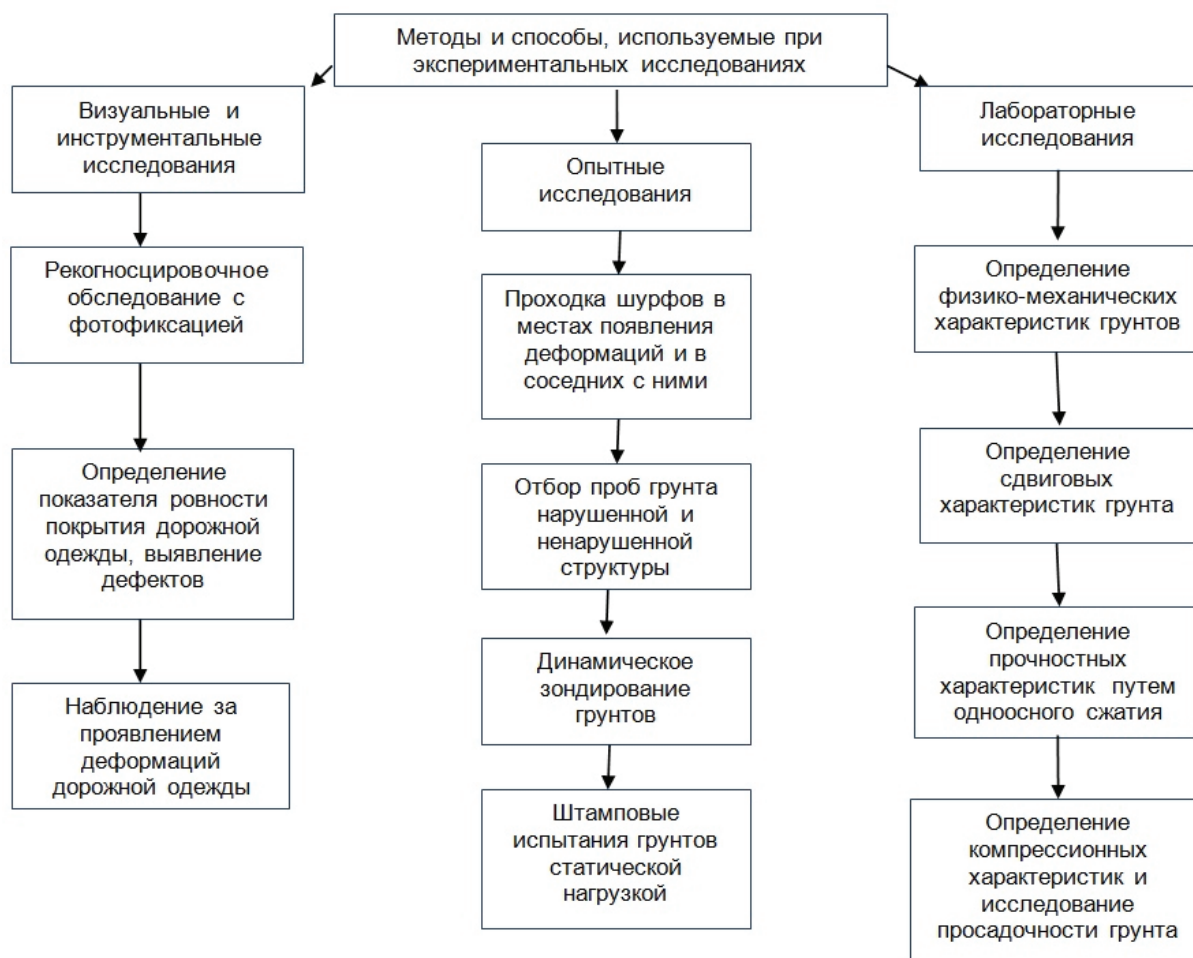


Рисунок 1 – Структурная схема выполнения работ при экспериментальных исследованиях

Figure 1 – Block diagram of work at experimental studies

² ОДН 218.0.006-2002 Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Взамен ВСН 6-90. Введ. 03.10.2002. – Министерство транспорта РФ. – М., 2002. – 140 с.

³ ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

слагающих земляное полотно и дальнейших исследований этих грунтов в геотехнической лаборатории.

Оценка состояния грунтов земляного полотна и затрубного пространства водопропускных труб на каждом рассматриваемом участке проводилась по данным четырех шурфов №1, №2, №3, №4. Шурфы №1, №2 были назначены на обочинах в месте расположения водопропускной трубы по обеим сторонам проезжей части. Шурфы №3, №4 были вскрыты на обочинах на расстоянии 30 м от оси водопропускной трубы в обоих направлениях автомобильной дороги (рисунок 2).

Проходка шурфов осуществлялась до глубины 3,2 м в зависимости от высоты насыпи. На втором этапе опытных исследований осуществлялось динамическое зондирование грунтов и штамповые испытания. Метод динамического зондирования использовался для определения коэффициента пористости грунта в соответствии с ГОСТ 5180–2015⁴. Схема расположения точек динамического зондирования аналогична рисунку 2 и позволяет сравнить характеристики уплотненности грунта затрубного пространства водопропускных труб и грунтов тела насыпи, удаленного

от водопропускной трубы участка. Общее количество пройденных точек динамического зондирования – 60. Глубина зондирования для каждой точки составила от 2,5 до 3,5 м в зависимости от высоты насыпи. Штамповые испытания грунта проводились в соответствии с ГОСТ 20276–2012⁵. Определялись характеристики сжимаемости (модуль деформации E и модуль упругости $E_{\text{упр}}$) грунтов земляного полотна затрубного пространства водопропускных труб. Для сравнения характеристик грунта испытания проводились на участках земляного полотна, расположенных на расстояниях 30 м от устройства водопропускных труб.

В геотехнической лаборатории были проведены исследования грунта, включающие в себя определение характеристик и состояния грунта в соответствии с ГОСТ 5180—2015, а именно: плотности грунта методом режущего кольца; плотности частиц грунта; влажности грунта W ; консистенции грунта; числа пластичности I_p ; показателя текучести I_L ; производных физических характеристик грунтов, в частности, плотности сухого грунта; пористости грунта; коэффициента пористости грунта; коэффициента водонасыщения грунта, компрессионных характеристик грунтов и исследова-

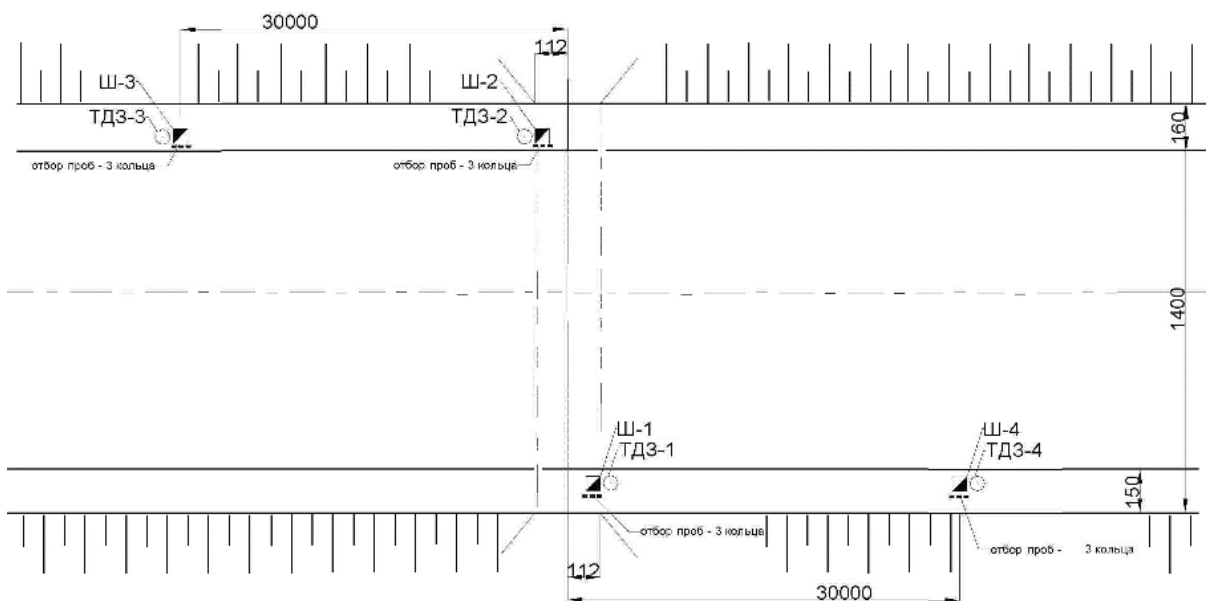


Рисунок 2 – Схема расположения выработок

Figure 2 – Scheme of the excavations' arrangement

⁴ ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ. 2015. 16 с.

⁵ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2013. 35 с.

ние просадочности грунта (в соответствии с ГОСТ 12248–2010⁶), а именно: коэффициента сжимаемости m_0 , МПа⁻¹; коэффициента относительной сжимаемости m_v , МПа⁻¹; модуля деформации E , МПа; структурной прочности грунта $p_{стр}$, Мпа; прочностных характеристик грунтов: сопротивления срезу τ [кПа], угла внутреннего трения ϕ [град] и удельного сцепления C [кПа] (в соответствии с ГОСТ 12248–2010 методом одноплоскостного среза по схеме консолидированно-дренированного испытания).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сопоставлении физико-механических характеристик грунта были выделены инженерно-геологические элементы, имеющие следующие значения коэффициента пористости e :

ИГЭ-1п – Супесь пылеватая, твердая, плотная; $e < 0,7$;

ИГЭ-1с – Супесь пылеватая, твердая, средней плотности; $e = 0,7-0,8$;

ИГЭ-1р – Супесь пылеватая, твердая, рыхлая; $e > 0,8$;

ИГЭ-2п – Суглинок легкий с прослоями тяжелого, пылеватый, плотный; $e < 0,7$;

ИГЭ-2с – Суглинок легкий с прослоями тяжелого, пылеватый, средней плотности; $e = 0,7-0,8$;

ИГЭ-2р – Суглинок легкий с прослоями тяжелого, пылеватый, рыхлый; $e > 0,8$.

Для получения штамповых модулей дефор-

мации применены фактические коэффициенты перехода от компрессионных к штамповым модулям деформации. Такие коэффициенты были получены в СГУПСе путем многочисленных сопоставительных испытаний грунтов супесей и суглинков разной номенклатуры при инженерно-геологических изысканиях.

Компрессионные испытания позволяют отразить неоднородность свойств грунта в пределах каждого ИГЭ, т.е. получить статистические характеристики, а значит получить расчетные значения модуля деформации.

Грунты в целом неоднородные, с частым переслаиванием по плотности от плотного до рыхлого. Эта неоднородность произошла из-за недостаточного уплотнения слоев укладываемого грунта, а также укладываемый грунт имел влажность менее оптимальной.

Влияние влажности и степени уплотнения грунта земляного полотна на параметры прочности⁷ и деформируемости исследовались в [19,20]. Нами установлена оптимальная влажность и максимальная плотность по ИГЭ.

Для ИГЭ 1 оптимальная влажность $W_{опт} = 0,21$, при этом максимальная плотность также изменяется в широком диапазоне $\rho_d^{max} = 1,92 \text{ т/м}^3 - 2,10 \text{ т/м}^3$.

Для ИГЭ 2 оптимальная влажность $W_{опт} = 0,25$, при этом максимальная плотность $\rho_d^{max} = 1,96 \text{ т/м}^3 - 2,12 \text{ т/м}^3$.

Средние коэффициенты уплотнения приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
Средние значения плотности, влажности и коэффициента уплотнения грунта
TABLE 1
Average values of density, humidity and soil compacting coefficient

№ ИГЭ	ρ_d^{max} , т/м ³	$\rho_d^{фак}$ среднее значение, т/м ³	$K_{упл}$	$W_{опт}$ среднее значение	$W_{фак}$ среднее значение
1 п	1,96	1,66	0,84	0,21	0,13
1с	1,96	1,55	0,79	0,21	0,14
1р	1,96	1,46	0,74	0,21	0,14
2п	1,98	1,64	0,83	0,25	0,16
2с	1,98	1,55	0,78	0,25	0,19
2р	1,98	1,48	0,71	0,25	0,19

⁶ ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 2016-04-01. М.: Стандартинформ, 2016. 21 с.

⁷ Носков И.В., Ананьев С.А., Ковалева М.А. Лабораторные испытания грунта перед проведением работ по инъектированию откосов земляного полотна автомобильных дорог // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы Международной научно-технической конференции. 2016. С. 201-205.

Грунты, слагающие земляное полотно, недостаточно увлажнены⁸.

В пределах выделенных элементов грунты неоднородные – физические характеристики выше нормативных.

Механические характеристики E , C , φ практически соответствуют физическому состоянию грунтов: виду (числу пластичности I_p), консистенции (показателю текучести I_L) и плотности (коэффициенту пористости e).

В таблице 2 приведены расчетные значения модулей деформации для выделенных ИГЭ.

Примечания:

1) m_k^{Φ} – коэффициент перехода от компрессионных модулей деформации E_k к штамповым $E_{шт}$, МПа;

2) K_y – коэффициент перехода от модулей общей деформации E к модулю упругости по второй ветви загрузки E_y , МПа.

Анализируя результаты лабораторных и полевых исследований, можно заключить, что состояние дорожного покрытия зависит от состояния грунтов земляного полотна.

В таблице 3 приведена зависимость деформатности дорожного покрытия по Δf от физико-механических характеристик грунтов земляного полотна.

Следует отметить, что к просадке дорожной одежды и нарушениям эксплуатационных показателей автомобильной дороги приводят деформации, возникающие в нижележащих слоях земляного полотна [17].

С целью исследования влияния показателя ровности покрытий на комплексный транспортно-эксплуатационный показатель ($KП_d$) дорожных одежд был выполнен расчет $KП_d$ дорожных одежд по частным коэффициентам обеспеченности расчетной скорости K_{pc1} , K_{pc2} и K_{pc8} , построены графики зависимости $KП_d$ дорожных одежд от близости к водопропускной трубе⁹. В результате исследования выяснилось, что нарушение ровности покрытий дорожных одежд присутствует в 93% случаев, из них в 73% обнаружена просадка дорожных одежд в местах устройства водопропускных труб. В свою очередь $KП_d$ дорожных одежд превышает допустимые значения лишь в 20% случаев в местах устройства водопропускных труб, что свидетельствует о некоторых неточностях из-за обобщения данных для расчета $KП_d$. Таким образом, показатель ровности покрытия оказывает влияние на $KП_d$ дорожных одежд, являясь достаточно точным для определения ровности покрытий, а следовательно, и деформаций дорожных одежд [21].

ТАБЛИЦА 2
Модули деформации и упругости грунта
TABLE 2
Modules of soil deformation and elasticity

№ ИГЭ	Модуль деформации. Компрессионные испытания E_k средний, МПа	Коэффициент перехода m_k^{Φ}	Модуль деформации. Штамповые испытания $E_{шт}$, МПа	Коэффициент перехода K_y	Модуль упругости E_y , МПа
1п	10,3	2,7	28	3,2	90
1с	9,6	2,7	26	3,2	83
1р	3,8	2,7	7,6	3,2	24
2п	9,8	3,1	31	3,5	108
2с	8,8	3,1	27	3,5	94
2р	6,0	3,1	19	3,5	66

⁸ Карелина Е.Л., Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб // Политранспортные системы: материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия – ЕС «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке». 2015. С. 287-293.

⁹ Пак Е.Л. Определение комплексного показателя транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги // Политранспортные системы: Материалы IX Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы». 2016. С. 114-116.

ТАБЛИЦА 3
Физико-механические характеристики грунтов земляного полотна и дефектность дорожного покрытия
TABLE 3
Physic-mechanical characteristics of the roadbed soil and paving deficiency

№ п/п	Адрес участка, км +	№ ИГЭ	№ шурфа	Глубина шурфа, Н, м	Средневзвешенный коэффициент пористости e_{cp}	Среднее значение		Модуль деформации E , МПа	Разница стрелы прогиба Δf , мм
						C , МПа	φ , град		
1	156+758	1п	Ш-2	0,7	0,630	0,018	30,8	9,7	-3
2	171+607	2п	Ш-1	0,2	0,604	0,032	25,2	10,9	-4
3	303+674	1п	Ш-1	0,5	0,688	0,024	25,3	9,4	-3
4	182+400,5	1с	Ш-1	0,5	0,751	0,022	24,6	7,4	10
5	201+82,5	2с	Ш-2	2,0	0,791	0,026	23,2	7,5	7
6	228+500,5	1с	Ш-1	0,5	0,724	0,16	28,2	7,8	10
7	20+226,5	1р	Ш-1	1,2	0,855	0,012	26,6	4,8	20
8	180+742,5	2р	Ш-1	0,9	0,819	0,021	23,3	6,5	23
9	205+499,5	2р	Ш-1	1,0	0,856	0,020	22,7	6,5	25

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что характеристики грунтов земляного полотна и затрубного пространства водопропускных труб оказывают существенное влияние на ровность покрытий дорожных одежд. Это объясняется тем, что свойства грунтов земляного полотна и затрубного пространства водопропускных труб оказались различны. Наибольшая разница заключалась в степени уплотненности грунтов. Степень уплотненности грунтов измерялась разными методами как в лабораторных, так и полевых условиях, что позволяет рационально оценить этот показатель. При этом худшее значение уплотненности грунта было получено в непосредственной близости от водопропускной трубы, что подтверждает вывод об образовании разуплотненных зон в затрубном пространстве водопропускных труб.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам экспериментальных работ на 16-ти участках выполнен корреляционно-регрессионный анализ физико-механических характеристик грунтов. В качестве исходных данных использованы глубина просадки (просвета) мм r , плотность грунта, г/см³ (ρ), угол внутреннего трения, град. (φ), удельное сцепление, МПа (C), модуль деформации, Мпа (E). Проверялись статистические связи: $r=f(E)$; $E=f(r)$; $r=f(E, \rho, \varphi, C)$; $E=f(\rho)$; $E=f(\varphi)$;

$E=f(C)$; $E=f(r, \rho, \varphi, C)$; $\rho=f(r)$; $\varphi=f(r)$; $C=f(r)$; $E=f(\rho, \varphi, C)$; $C=f(\varphi, \rho)$.

Расчеты выполнены в статистическом блоке EXCEL. Матрица парных коэффициентов корреляции физико-механических характеристик грунтов показывает отсутствие связи между глубиной просадки (просвета) дорожной одежды над водопропускной трубой (r) плотностью грунта (ρ), углом внутреннего трения (φ), удельным сцеплением C , модулем деформации (E). В то же время связи между парами характеристик грунтов являются сильными, близкими к функциональным (таблица 4). Аппроксимация проводилась экспоненциальной, логарифмической, степенной и линейной функциями.

t -критерий Стьюдента ($t_p > t_{табл}$) подтверждает достоверность коэффициентов линейной зависимости модуля деформации от плотности грунта. Вместе с тем уравнение регрессии может быть нелинейным. Достоверность правильности выбора взаимосвязи устанавливается критерием Фишера (F - критерий). При $F_p > F_{табл}$ уравнение регрессии считается статистически достоверным.

Коэффициенты детерминации превышают 0,9, что позволяет принять любое уравнение регрессии из приведенных. Поэтому нами проведены статистические исследования на ряде водопропускных труб, увеличивающие число наблюдений и повышающие репрезентативность выборки.

ТАБЛИЦА 4
Регрессионные модели физико-механических характеристик грунтов
TABLE 4
Regression models of the soil physic-mechanical characteristics

Парные уравнения регрессии в затрубном пространстве водопропускных труб							
№ п/п	км а/д	E= f (ρ)	Коэффициент детерминации	E= f (φ)	Коэффициент детерминации	E= f (C)	Коэффициент детерминации
1	20	y = 0,208e ^{1,9819x}	0,91	y = 0,1196e ^{0,1379x}	0,98	y = 1,6749e ^{84,937x}	0,97
		y = 22,655ln(x) - 5,8373	0,93	y = 25,793ln(x) - 80,163	0,98	y = 8,3645ln(x) + 41,327	0,93
		y = 0,9697x ^{3,4566}	0,92	y = 1E-05x ^{3,9759}	0,98	y = 1432,1x ^{1,3006}	0,96
		y = 13,023x - 15,984	0,93	y = 0,8966x - 19,344	0,98	y = 550x - 2,15	0,96
Парные уравнения регрессии по двум шурфам на удалении ±30 м от водопропускных труб							
2	20	y = 0,9074e ^{1,1315x}	0,40	y = 0,4793e ^{0,0892x}	0,59	y = 2,8947e ^{52,325x}	0,54
		y = 13,964ln(x) - 1,2006	0,40	y = 16,99ln(x) - 50,78	0,53	y = 5,399ln(x) + 29,09	0,50
		y = 2,0907x ^{2,0475}	0,41	y = 0,001x ^{2,5901}	0,59	y = 196,09x ^{0,8158}	0,55
		y = 7,7258x - 6,9088	0,39	y = 0,5859x - 10,576	0,53	y = 347,8x + 1,1673	0,50
Парные уравнения регрессии по четырем шурфам по длине в 60 м							
3	20	y = 0,3475e ^{1,6773x}	0,76	y = 0,2175e ^{0,1165x}	0,85	y = 1,9631e ^{75,461x}	0,83
		y = 19,189ln(x) - 4,0822	0,75	y = 21,549ln(x) - 66,074	0,81	y = 7,4462ln(x) + 37,512	0,80
		y = 1,2603x ^{2,9492}	0,76	y = 8E-05x ^{3,3615}	0,85	y = 797,8x ^{1,1584}	0,83
		y = 10,941x - 12,514	0,75	y = 0,748x - 15,229	0,81	y = 488,35x - 1,1567	0,81

Также получены следующие уравнения регрессии:

1) $E = f(r, \rho, \varphi, C); E = -0,012 \times r + 1,449 \times \rho + 1,675 \times \varphi - 543,222 \times C - 35,5426$. Коэффициент детерминации (R^2) составляет 0,99.

2) $E = f(\rho, \varphi, C); E = 1,439 \times \rho + 1,55 \times \varphi - 466,34 \times C - 33,3424$; $R^2 = 0,98$.

3) $C = f(\varphi, \rho); C = 0,0027 \times \rho + 0,0014 \times \varphi - 0,03$; $R^2 = 0,99$.

Уравнения регрессии по шурфам на удалении ± 30 м от водопропускных труб, учитывающие продольную ровность (r), имеют следующий вид:

1) $r = f(E)$ (глубина просадки дорожной одежды как функция модуля деформации) $y = -0,064 \times x + 7,95$ при множественном R , равном 0,398, $R^2 = 0,159$, что свидетельствует о слабой корреляции указанных параметров. Это свидетельствует о том, что статистическая зависимость продольной ровности (колейности) от модуля деформации возрастает с удалением от трубы. Это подтверждается следующим уравнением:

2) $r = f(E, \rho, \varphi, C)$
 $r = -7,586 \times E + 79,507 \times \rho - 5,572 \times \varphi + 4371,8 \times C + 21,467$.

Множественный $R = 0,729$, $R^2 = 0,532$.

Корреляция и статистика между модулем деформации $E = f(r, \rho, \varphi, C)$ и приведенными выше показателями иллюстрируется таблицами 5, 6, 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные экспериментальные исследования показали:

1) При обследовании пятнадцати участков автомобильной дороги в местах устройства водопропускных труб установлено, что на четырнадцать из них присутствуют нарушения ровности покрытия дорожных одежд в виде просадок, трещин, выбоин.

2) На участках, удаленных от водопро-

ТАБЛИЦА 5
Коэффициенты корреляции между глубиной просадки дорожной одежды и физико-механическими характеристиками грунтов

TABLE 5
Correlation coefficients between sag depth of the road surfacing and soil physico-mechanical characteristics

	r	ρ	φ	C	E
	1				
ρ	0,075 566	1			
φ	-0,022 4	0,677 291	1		
C	-0,043 3	0,394 636	0,906 637	1	
E	-0,398 3	0,622 562	0,730 792	0,703 427	1

ТАБЛИЦА 6
Регрессионная статистика
TABLE 6
Regression statistics

Множественный R	0,915 428
R-квадрат	0,838 008
Нормированный R-квадрат	0,622 019
Стандартная ошибка	0,512 211
Наблюдения	32

пускных труб на расстоянии 30 м по обеим сторонам километража отмечается улучшение физико-механических характеристик грунтов земляного полотна, в том числе снижение (или уменьшение) влажности. Также отмечено меньшее количество дефектов дорожной одежды, что указывает на улучшение прочностных свойств грунтов земляного полотна.

3) Сопоставив результаты измерений ровности покрытий динамического зондирования, визуального осмотра, физико-механических свойств грунтов, можно сделать вывод, что первопричиной нарушения ровности покрытий дорожной одежды на барьерных участках является образование разуплотненных зон в затрубном пространстве водопропускных труб.

ТАБЛИЦА 7 Статистические показатели
TABLE 7 Statistics

Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	1,280 784	10,497 5	0,122 008	0,910 606	-32,126 9	34,688 52
r	-0,068 94	0,038 012	-1,813 61	0,167 385	-0,1899 1	0,052 032
ρ	9,371 402	5,581 74	1,678 939	0,191 756	-8,392 19	27,134 99
φ	-0,635 36	0,781 96	-0,812 52	0,475 983	-3,123 9	1,853 19
C	546,584 4	385,406 6	1,418 202	0,251 162	-679,951	1773,12

Применение корреляционно-регрессионного анализа для оценки качества автомобильных дорог в совокупности с экспериментальными исследованиями позволяет значительно сократить время и стоимость испытаний физико-механических характеристик грунтов, что будет способствовать повышению эффективности планирования ремонтов, повышению качества и безопасности автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарев Ю.Г., Симонов Д.Л., Новик А.Н. Формирование потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 1(35). С. 43-47.
2. Воробьев В.С., Пингасов Д.В., Мирошниченко С.В. Управление рисками строительства автомобильных дорог // Известия вузов. Строительство. 2012. №1, Изд-во Сибстрин. С. 84-91.
3. Бендер О.А. Прогнозирование рисков в системе капитального ремонта автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. 2012. № 6(28). С. 15-18.
4. Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Шамраев Л.Г. Современный подход к оценке транспортно- эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги». САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 39-51.
5. Daniel J. Findley Part 4 Highway Geometric Design. Highway Engineering. 2016, Pages 167-253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801248-2.00004-6>
6. Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Багина М.В. Совершенствование норм проектирования дорожных одежд в части уточнения дислокации дорожно-климатических зон для субъектов Российской Федерации // Мир дорог. 2014. № 74. С. 21–23.
7. Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Сухо-руков А.В. Совершенствование норм проектирования автомобильных дорог Российской Федерации в части методологии учёта особенностей природно-климатических условий // Вестник КГУСТА. 2016. № 1. С. 53–59.
8. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008. 62 p.
9. Крицкий М.Я., Шестаков В.Н. О классификации дефектов земляного полотна автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. Омск, 2007. Вып 5. С. 69–76.
10. Николенко Д.А., Кмета А.Г. Прогнозирование деформаций и разрушений дорожных конструкций автомобильных дорог: научное издание // Строительство. Ростов на Дону, 2014. С. 35-36.
11. Воробьев В.С., Пак Е.Л. Влияние физико-механических характеристик грунта земляного полотна на образование деформаций дорожной одежды // Вестник ТГАСУ, Томск, 2017. № 1 (60). С. 190-199.
12. Александрова Н.П., Семенова Т.В., Стригун К.Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. 2015. № 4(44). С. 46-57.
13. GPR analysis of clayey soil behaviour in unsaturated conditions for pavement engineering and geoscience applications / F. Tosti, A. Benedetto, L.B. Ciampoli, S. Lambot, C. Patriarca, E.C. Slob // Near surface geophysics, 2016. Т.: 14, в 2. Р. 127–144.
14. Лаврентьев П.А. Отечественные и зарубежные методологии прогнозирования продольной ровности покрытия автомобильных дорог // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 4(39). С. 168-172.
15. Шустов А.В., Ганзин С.В., Самек Е.И. Оценка применяемых методов диагностики ровности покрытия автомобильных дорог при их эксплуатации // Известия ВолгГТУ. 2013. № 21(124). С. 100-103.
16. Афиногенов О.П., Афиногенов А.О., Серякова А.А. Влияние степени уплотнения грунтов на величину их модуля упругости // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 3(103). С.110-113.
17. Ярмолинский А.И., Ярмолинский В.А., Украинский И.С. Анализ деформации и разрушений автомобильных дорог юга Дальнего Востока и предпосылки их устранения // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2014. № 14. С. 20-28.
18. Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Ляпин А.А. Комплексный подход к исследованию характеристик динамического деформирования на поверхности нежестких дорожных одежд

с использованием методов неразрушающего контроля // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 2. С. 111–130. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.08

19. Семенова Т.В., Кузин Н.В. Влияние влажности и степени уплотнения грунта земляного полотна на параметры прочности и деформируемости // Научный альманах. 2016. № 7-1(21). С. 451-453.

20. Qiao Y. Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life / Qiao Y., Flintscli G., Dawson A., Parry T. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2013. №. 2349. pp. 100-107.

21. Могильный К.В., Чванов В.В., Красиков О.А. Требования к ровности дорожных оснований и покрытий. Методы и средства измерений неровностей // Дороги и мосты. 2011. Т. 26. № 2. С. 151-169.

REFERENCES

1. Lazarev YU.G., Simonov D.L., Novik A.N. Formirovanie potrebitel'skih i ehkspluatatsionnykh svoystv avtomobil'nykh dorog [Formation of consumer and operational properties of highways]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2016, no. 1(35), pp. 43-47. (in Russian).

2. Vorob'ev V.S., Pingasov D.V., Miroshnichenko S.V. Upravlenie riskami stroitel'stva avtomobil'nykh dorog [Risk management of road construction]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 2012, no. 1, pp. 84-91. (in Russian).

3. Bender O.A. Prognozirovanie riskov v sisteme kapital'nogo remonta avtomobil'nykh dorog [Forecasting of risks in system of highways major maintenance]. *Vestnik SibADI*. Omsk, 2012. no 6(28). pp. 15-18. (in Russian).

4. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., SHamraev L.G. Sovremennyy podhod k ocenke transportno-ehkspluatatsionnykh pokazatelej avtomobil'nykh dorog gosudarstvennoj kompanii «Rossijskie avtomobil'nye dorogi» [A modern approach to assessing the transport and operational performance of highways of the state company "Russian Highways"]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog*, 2016, no. 1(6), pp. 39-51. (in Russian).

5. Daniel J. Findley Part 4 Highway Geometric Design. Highway Engineering. 2016, Pages 167-253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801248-2.00004-6>

6. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V. Sovershenstvovanie norm proektirovaniya dorozhnykh odezhd v chasti utocneniya dislokatsii dorozhno-klimaticheskikh zon dlya sub"ektov Rossiyskoy Federatsii [Improvement of pavement design standards in terms of road-building climatic zoning for subjects of the Russian Federation]. *Mir dorog*, 2014, no. 74, pp. 21–23. (in Russian).

7. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Sukhorukov A.V. Sovershenstvovanie norm proektirovaniya avtomobil'nykh dorog Rossiyskoy Federatsii v chasti metodologii ucheta osobennostey prirodno-klimaticheskikh usloviy [Improving highway design standards of the Russian Federation accounting for natural-climatic conditions]. *Vestnik KSUCTA*, 2016, no. 1, pp. 53–59. (in Russian).

8. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design – Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008. 62 p.

9. Krickij M.YA., SHestakov V.N. O klassifikacii defektov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog [About classification of defects of a road bed of highways]. *Vestnik SibADI*, 2007, no 5, pp. 69–76. (in Russian).

10. Nikolenko, D.A., Kmeta A.G. Prognozirovanie deformacij i razrushenij dorozhnykh konstrukcij avtomobil'nykh dorog: nauchnoe izdanie [Forecasting deformations and fractures of road structures of highways: a scientific publication]. *Stroitel'stvo*, Rostov na Donu, 2014, pp. 35-36. (in Russian).

11. Vorob'ev V.S., Pak E.L. Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh harakteristik grunta zemlyanogo polotna na obrazovanie deformacij dorozhnoj odezhdy [Influence of physicommechanical characteristics of ground of an earthen cloth on the formation of deformations of pavement]. *Vestnik TGASU*, Tomsk, 2017, no. 1 (60), pp. 190-199. (in Russian).

12. Aleksandrova N.P., Semenova T.V., Strigun K.YU. Sovershenstvovanie metodov ehkspress ocenki kachestva uplotneniya gruntov zemlyanogo polotna stroitel'stva avtomobil'nykh dorog [Improvement of the methods of express assessment of the quality of compaction of soil in the roadway of road construction]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 4(44), pp. 46-57. (in Russian).

13. Tosti F., Benedetto A., Ciampoli L.B., Lambot S., Patriarca C., Slob E.C. GPR analysis of clayey soil behaviour in unsaturated conditions

for pavement engineering and geoscience applications. *Near surface geophysics*, 2016. T.: 14, в 2, pp. 127–144.

14. Lavrent'ev P.A. Otechestvennye i zarubezhnye metodologii prognozirovaniya prodol'noj rovnosti pokrytiya avtomobil'nyh dorog [Domestic and foreign methodologies for predicting the longitudinal smoothness of the road surface coverage]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2013, no. 4(39), pp. 168–172. (in Russian).

15. SHustov, A.V., Ganzin S.V., Samek E.I. Ocenka primenyaemykh metodov diagnostiki rovnosti pokrytiya avtomobil'nyh dorog pri ih ehkspluatatsii [Estimation of applied methods of diagnostics of smoothness of a covering of highways at their operation]. *Izvestiya VolgGTU*, 2013, no. 21(124), pp. 100–103. (in Russian).

16. Afinogenov O.P., Afinogenov A.O., Seryakova A.A. Vliyanie stepeni uplotneniya gruntov na velichinu ih modulya uprugosti [Influence of the degree of compaction of soils on the magnitude of their modulus of elasticity]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 3(103), pp. 110–113. (in Russian).

17. YArmolinskij, A.I., YArmolinskij V.A., Ukrainskij I.S. Analiz deformatsii i razrushenij avtomobil'nyh dorog yuga Dal'nego Vostoka i predposylki ih ustraneniya [Analysis of deformation and destruction of highways in the South of the Far East and the prerequisites for their elimination] *Dal'nij Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya: mezhdunarodnyj sbornik nauchnykh trudov - Habarovsk: Izdatel'stvo TOGU*, 2014, no. 14, pp. 20–28. (in Russian).

18. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Liapin A.A. Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing. *PNRPU Mechanics Bulletin*, 2016, no 2, pp. 111–130. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.08. (in Russian).

19. Semenova T.V., Kuzin N.V. Vliyanie vlazhnosti i stepeni uplotneniya grunta zemlyanogo polotna na parametry prochnosti i deformiruемости [Influence of humidity and the degree of soil compaction of the roadbed on the parameters of strength and deformability]. *Nauchnyj al'manah*, 2016, no. 7-1(21), pp. 451–453. (in Russian).

20. Qiao Y., Flintscli G., Dawson A., Parry T. Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life Transportation Research Record: Journal of the

Transportation Research Board. 2013. no. 2349. pp. 100–107.

21. Mogil'nyj K.V., CHvanov V.V., Krasikov O.A. Trebovaniya k rovnosti dorozhnyh osnovanij i pokrytij. Metody i sredstva izmerenij nerovnostej [Requirements for the smoothness of road bases and coatings. Methods and means for measuring irregularities]. *Dorogi i mosty*, 2011, Vol. 26, no 2, pp. 151–169. (in Russian).

Поступила 24.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Валерий Степанович (г. Новосибирск, Россия) – доктор технических наук, профессор, декан факультета «Строительство железных дорог», заведующий кафедрой «Технология, организация и экономика строительства» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчука, 191 e-mail: Vorobjev@stu.ru).

Карелина Елена Леонидовна (г. Новосибирск, Россия) – аспирант кафедры «Технология, организация и экономика строительства» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчука, 191 e-mail: karelinaelena23@mail.ru).

Бендер Оксана Анатольевна (г. Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчука, 191 e-mail: O_Ben@mail.ru).

Каталымова Ксения Валерьевна (г. Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, директор по правовой и кадровой работе ОАО «Новосибирскавтодор» (630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 19 e-mail: Katalymova@nskavd.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery S. Vorobjev – doctor of technical science, Professor, Dean of the Rail Road Construction Faculty, Head of the Construction Technology, Organization and Economics Department, Siberian State Transport University

(630049, Novosibirsk, Russia, 191, D. Kovalchuk St., e-mail: Vorobjev@stu.ru).

Karelina Elena Leonidovna – graduate student of the Construction Technology, Organization and Economics Department, Siberian State Transport University (630049, Novosibirsk, Russia, 191, D. Kovalchuk St., e-mail: karelinaelena23@mail.ru).

Bender Oxana Anatolievna – candidate technical science, associate professor of the Researches, Design and Construction of Railway and Highways Department, Siberian State Transport University (630049, Novosibirsk, Russia, 191, D. Kovalchuk St., e-mail: O_Ben@mail.ru).

Katalymova Ksenia Valeryevna – candidate technical science, Director of Legal and Personnel Department, Open Joint Stock Company “NovosibirskAvtoDor” (630099, Novosibirsk, 19, Kamenskaya St., e-mail: Katalymova@nskavd.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Все соавторы внесли равный вклад.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Authors have equal contribution to the research.

УДК 625.76

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

В.В. Голубенко, А.С. Александров, В.В. Сиротюк
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность рассматриваемого вопроса подчеркнута в Стратегии провозглашения стремления к нулевой смертности на дорогах страны. Повышение функциональной долговечности (срока службы) горизонтальной дорожной разметки является эффективным и дешёвым способом организации движения автомобилей и пешеходов, что может понизить количество ДТП на 15–30%.

Методы. Выполнен детальный анализ факторов, влияющих на функциональную долговечность (срок службы) горизонтальной дорожной разметки и методов прогнозирования долговечности.

Результаты. Установлены основные факторы, определяющие функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки. Они разделены на пять групп: погодноклиматические; механические; свойства материала разметки; технологические; свойства дорожного покрытия. В статье представлен критический анализ существующих методов прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной разметки. В зарубежных публикациях по рассматриваемому вопросу нет работ по прогнозированию функциональной долговечности горизонтальной разметки путём создания сложных математических моделей. Большинство зарубежных и российских моделей основаны на эмпирических зависимостях. Эти методы и модели не учитывают ряд важных факторов, например: степень шероховатости и истираемость каменных материалов, их втапливание в асфальтобетонное покрытие и др.

Обсуждение и заключение. Авторы пришли к выводу, что попытки создания единой достоверной математической модели, учитывающей более 40 факторов, нереальны. Поэтому поставлена задача разработки ряда моделей, позволяющих в большей мере учитывать свойства дорожного покрытия, местоположение и разновидность разметочных линий и более достоверно прогнозировать функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки для разных типов дорожных покрытий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожная разметка, факторы, влияющие на долговечность, прогнозирование функциональной долговечности.

© В.В. Голубенко, А.С. Александров, В.В. Сиротюк



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF PREDICTION METHODS FOR THE FUNCTIONAL DURABILITY OF ROAD MARKINGS

V.V. Golubenko, A.A. Aleksandrov, V.V. Sirotiyuk
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The actuality of the research is emphasized in the Strategy of proclaiming the desire for zero mortality on the country's roads. Increasing the functional durability (the service life period) of horizontal road markings is an effective and cheap way to organize the movement of vehicles and pedestrians, which could reduce the number of accidents by 15-30%.*

Methods. *The detailed factor analysis, influenced on the functional durability of the horizontal road markings and on the durability forecasting methods, is made by the authors.*

Results. *The authors have established the main factors determining the functional durability of the horizontal road marking. They are divided into five groups: weather-climatic; mechanical; properties of the marking material; technological; properties of the road pavement. Moreover, the article presents a critical analysis of the existing methods of forecasting the functional durability of horizontal marking. In foreign publications on the issue under consideration there is no work on the prediction of the functional durability of horizontal marking by creating complex mathematical models. Most foreign and Russian models are based on empirical dependences. However, these methods and models do not take into account a number of important factors, such as the degree of roughness and abrasion of stone materials, their embedding in asphalt concrete coating, etc.*

Discussion and conclusion. *The authors came to the conclusion that attempts to create a single reliable mathematical model that takes into account more than 40 factors couldn't be realistic. Therefore, there is a task of developing a number of models that allow to have greater extent that take into account the properties of the road surface, the location and variety of marking lines and predict the functional durability of horizontal road markings for different types of road pavement more reliably.*

KEYWORDS: *road marking, factors affecting the durability, prediction of functional durability.*

© V.V. Golubenko, A.A. Aleksandrov, V.V. Sirotiyuk



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы данной публикации обоснована следующими обстоятельствами. Премьер-министр России Д.А. Медведев на заседании 22 января 2018 г. заявил об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 гг.¹. В Стратегии приводятся данные по аварийности за период с 2007 по 2016 гг. В стране за это время в ДТП погибла 271 тыс. человек, еще 2,5 млн человек пострадали. Стратегия провозглашает стремление к нулевой смертности на дорогах страны к 2030 г.

Дорожная разметка является важным и относительно дешёвым средством организации движения транспортных средств и пешеходов. Она снижает аварийность на дорогах от 15 до 30% [1]. Установлено² [2], что нанесение горизонтальных регулировочных линий способствует повышению средней скорости потока автомобилей на 10–15%. При этом пропускная способность возрастает до 20%.

Первая дорожная разметка возникла в 1911 г. в штате Мичиган, США³. В России первая дорожная разметка появилась в июне 1933 г. в Москве⁴. До 60-х годов отсутствовала чёткая законодательная база, регламентирующая нанесение разметки, затем в СССР были введены единые правила движения. В 1975 г. был введён ГОСТ 13508, касающийся дорожной разметки и разработанный на основе международных соглашений, а в 1977 г. – ВСН 23-75 Указания по разметке автомобильных дорог. Эти документы были подготовлены на основе исследований, выполненных под руководством М.Б. Афанасьева, В.Д. Бабкова, В.Д. Белова, А.П. Васильева, Г.М. Лобанова и др.

До настоящего времени не существует комплексных математических моделей для достоверного прогнозирования функциональной долговечности (срока службы) горизонтальной дорожной разметки. Это в свою очередь не позволяет выбирать наиболее эффективные разметочные материалы, своевременно планировать сроки и потребные ресурсы для

возобновления разметки на автомобильных дорогах и городских улицах. С появлением методов прогнозирования появится возможность поддерживать потребительские свойства дороги на высоком уровне при снижении эксплуатационных затрат.

Данное исследование носит обзорный характер с целью установить возможность и целесообразность разработки комплексной или частных моделей для прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной дорожной разметки.

Нормирование функциональной долговечности. Установлено [3, 4], что разметка эффективна, если она обладает следующими свойствами:

- хорошо видима в любое время суток и в разных погодных условиях;
- обладает устойчивостью к изменениям температуры, химическим и метеорологическим воздействиям;
- обеспечивает необходимое для безопасного движения сцепление колеса с дорогой;
- быстро формируется после нанесения;
- обладает долговечностью, т.е. имеет необходимый срок эксплуатации.

Функциональная долговечность разметки определяется периодом времени, в течение которого она отвечает техническим требованиям, которые указаны в ГОСТ 32953 и ГОСТ Р 51256.

За рубежом разработаны стандарты, определяющие требования к разметочным материалам, способы их нанесения и т.д.: EN 1423, EN 1424, EN 1436, EN 1463, EN 1790, EN 1824, EN 1871, EN 12802, EN 13197, EN 13212, ENV 13459, ONORM B 2440, BS 6044, BS 7396, TT-P-115F.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАЗМЕТКИ

Для разработки математической модели необходимо установить и исследовать все основные факторы, влияющие на долговеч-

¹ Стратегия безопасности движения: в планах нулевая смертность на дорогах [Электронный ресурс]. http://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=61861 (дата обращения: 24.07.2018).

² Материалы для разметки дорог [Электронный ресурс]. <http://xn----itbqdggnn6b.xn--p1ai/references/view/reference/> (дата обращения: 23.07.2018).

³ Прошлое и настоящее дорожной разметки [Электронный ресурс]. http://spectr-pdd.ru/Dorognaya_razmetka (дата обращения 22.07.2018).

⁴ Дорожная разметка в России [Электронный ресурс]. <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 21.07.2018).

ность. На основании наших исследований⁵ [5] и анализа работ^{6 7 8} [6,7,8,9,10,11] эти факторы установлены и разделены на пять групп (таблица).

Из приведённых данных следует, что прогнозирование срока службы (функциональной

долговечности) горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации дороги является очень сложной многофакторной задачей. Более 40 факторов (см. табл.) в той или иной степени влияют на функциональную долговечность.

ТАБЛИЦА
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ (СРОК СЛУЖБЫ)
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ
TABLE
FACTORS AFFECTING FUNCTIONAL DURABILITY (SERVICE LIFE) OF
HORIZONTAL ROAD MARKING

Наименование факторов				
1. Погодно-климатические	2. Механические	3. Свойства материала разметки	4. Технологические	5. Свойства дорожного покрытия
1.1. Количество переходов температуры через ноль градусов 1.2. Температура воздуха и покрытия 1.3. Продолжительность тёплого и холодного периодов 1.4. Интенсивность солнечной радиации 1.5. Интенсивность осадков 1.6. Относительная влажность воздуха	2.1. Количество наездов машин 2.2. Интенсивность торможения и ускорения машин 2.3. Удельная нагрузка на колесо 2.4. Вид и твёрдость протектора 2.5. Наличие и количество шипов в шине 2.6. Интенсивность воздействия машин для очистки покрытия	3.1. Величина и стабильность адгезионных свойств 3.2. Стойкость к истиранию 3.3. Величина и стабильность световых показателей 3.4. Величина коэффициента сцепления шины с материалом разметки 3.5. Водостойкость 3.6. Стойкость к химическим веществам и растворителям 3.7. Загрязняемость 3.8. Твёрдость 3.9. Вязкость 3.10. Время высыхания 3.11. Содержание нелетучих веществ 3.12. Температура хрупкости 3.13. Расслаиваемость 3.14. Температура размягчения 3.15. Наличия и свойства микростеклошариков	4.1. Удельный расход разметочного материала 4.2. Чистота покрытия при нанесении и содержании 4.3. Температура покрытия при нанесении 4.4. Влажность покрытия при нанесении 4.5. Способ нанесения 4.6. Температура материала	5.1. Вид покрытия 5.2. Величина когезии 5.3. Величина шероховатости 5.4. Истираемость каменного материала 5.5. Деформативность материала покрытия 5.6. Наличие абразива на покрытии 5.7. Свойства вяжущего в покрытии 5.8. Различия коэффициента расширения материала разметки и покрытия

⁵ Голубенко В.В. Влияние свойств асфальтобетонного покрытия на срок службы горизонтальной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2003. 18 с.

⁶ Юшков Б.С., Бургонутдинов А.М., Юшков В.С. Исследование долговечности дорожной горизонтальной разметки в климатических условиях Урала // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). СПб.: Реноме, 2011. С. 208-212. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/64/> (дата обращения: 24.07.2018).

⁷ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

⁸ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

В зарубежных исследованиях по дорожной разметке^{9 10 11 12 13 14 15 16} [12,13] практически отсутствуют попытки разработки комплексных математических моделей для прогнозирования её функциональной долговечности. В работах приводятся результаты испытаний конкретных разметочных материалов, нанесённых на разные дорожные покрытия.

Постоянную горизонтальную разметку (о которой идёт речь в данной статье) выполняют красками (эмальями), термопластиками и холодными пластиками, полимерными лентами и штучными формами. Большое разнообразие материалов, применяемых для нанесения дорожной разметки, требует поиска методов расчёта для каждого типа материалов.

Наибольшей долговечностью обладают полосы разметки из термопласта. Однако архаичные методы разогрева этих материалов в котлах с ограничением температуры из-за интенсивного старения пластиков вынуждают наносить слои из термопласта избыточной толщиной 3–6 мм. Более эффективно наносить термопласты на покрытия методом плазменного или газопламенного напыления [5] со сверхзвуковой скоростью струи. При этом достаточно толщины слоя 0,6–0,9 мм.

Полосу дорожной разметки значительной толщины (3–6 мм) можно рассматривать как отдельный конструктивный слой [14,15,16,17,18,19,20,21,22,23]. При этом целесообразно использовать методики расчёта пластин и тонких слоёв. Важен выбор расчётной модели слоистого полупространства, подстилающего

разметку.

Оценку прочности материалов разметки, работающих на растяжение (ленты и плёнки), можно производить на основе расчётно-мембранных моделей [24,25,26]. Мембранная модель представляет собой набор простых или сложных реологических тел, перекрытых мембраной. Например, модель М.М. Филоненко-Бородича является основанием Винклера, поверх пружин которого натянута мембрана. При деформировании пружин в мембране появляются растягивающие напряжения.

А.И. Красильников¹⁷ использовал решение проф. И.А. Медникова¹⁸ [20], в соответствии с которым растягивающее напряжение в термопластике определяют по формуле

$$\sigma_{pac} = \frac{t}{an}, \quad (1)$$

где t – интенсивность горизонтальной составляющей нагрузки, МПа; a – ширина отпечатка нагрузки, м;

$$n = \sqrt{\frac{C_3(1-\mu^2)}{Eh}}, \quad (2)$$

где C_3 – коэффициент постели термопластика, МН/м; E – модуль упругости термопластика, МПа; μ – коэффициент Пуассона термопластика; h – толщина слоя разметки, м.

Произведём анализ формулы (2).

1. Механические характеристики слоистого полупространства C_3 и термопластика E не

⁹ AASHO Road Test [Электронный ресурс] URL: <http://www.camineros.com/docs/cam003.pdf> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁰ Expressway & Transportation Research Institute [Электронный ресурс] URL: <http://research.ex.co.kr/en/index.jsp> (дата обращения 20.07.2018).

¹¹ Korea Expressway Corporation [Электронный ресурс] URL: http://www.ex.co.kr/english/company/cor_Overview/PnM/com_cor_pur.jsp (дата обращения 20.07.2018).

¹² Minnesota Department of Transportation [Электронный ресурс] URL: <http://www.dot.state.mn.us/mnroad/> (дата обращения 20.07.2018).

¹³ Guide to the marking industry in the uk [Электронный ресурс] URL: <http://www.bridgpointroadmarkings.com/wp-content/uploads/2012/07/RSMA-Top-Marks-brochure.pdf> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁴ Transport Research Center of CEDEX [Электронный ресурс] URL: <http://www.cedex.es/ingles/presentacion/datos/instalaciones/ins1.html> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁵ Transportation Research Board [Электронный ресурс] URL: <http://www.trb.org> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁶ Pugin K.G., Jushkov W.S. Modern materials of drawing of road sectoring // materials international scientifically-practical conference of «The Problem of functioning of systems of transport», Tyumen. 2010. pp. 275-278.

¹⁷ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

¹⁸ Медников И.А. Исследование по теории расчета бетонных покрытий автомобильных дорог: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М.: 1965. 64 с.

зависят от продолжительности напряжённого состояния и количества реализованных нагрузок.

2. Не учитывается способность термопластика релаксировать напряжения, что необходимо для прогнозирования квазихрупкого или высокоэластического разрушения.

3. Не учитывается уровень и продолжительность напряжённого состояния, количество приложенных нагрузок, что не соответствует реальной картине нагружения.

4. Методика А.И. Красильникова не учитывает распределение проходов автомобилей по ширине проезжей части, что не даёт возможности прогнозировать срок службы различных типов разметок. Отмеченные недостатки обуславливают необходимость модернизации метода расчёта, предложенного А.И. Красильниковым¹⁹.

Формула, рекомендованная В.И. Бочкарёвым²⁰ [6], учитывает релаксацию напряжения, которая описывается уравнением тела Максвелла. Особенность тела Максвелла заключается в том, что начальное напряжение релаксирует до нулевого значения, что не соответствует действительности. Реальные тела релаксируют напряжения лишь до определённого значения являющимся конечным напряжением.

А.И. Красильников и В.И. Бочкарёв^{21 22} пришли к выводу, что оптимальные условия работы термопластика создаются при температурах, обуславливающих его высокоэластическое состояние. В этом состоянии материал быстро релаксирует напряжение, что благоприятно сказывается на предельном состоянии по прочности. Однако авторы не учитывают образование необратимых деформаций сдвига и уплотнения термопластика, которые будут возрастать с увеличением температуры. При необратимой деформации сдвига проис-

ходит необратимое изменение формы разметки, сопровождаемое уменьшением её толщины и увеличением площади в плане.

Данная картина поведения термопластика при высоких температурах характерна для отечественных и некоторых импортных составов ТПК, ФЦДТ Союз, Сваркотем [7,8,9,10]. При деформации уплотнения уменьшается объём разметки. Следовательно, при высокоэластических деформациях толщина разметки уменьшается, что приводит к увеличению интенсивности износа, обусловленного истиранием краски. Кроме того, авторы, рассматривая хрупкое и высокоэластическое состояния термопластика, упустили из виду промежуточное квазихрупкое состояние.

Квазихрупкое состояние материала^{23 24} [14,27,28,29,30,31] проявляется в определённом диапазоне температур. Нижней границей этого диапазона является температура хрупкости, а верхней – квазихрупкости. При квазихрупком состоянии в зоне дефекта структуры материала (пора, трещина и т.п.) возникает пластическая зона, в пределах которой протекает релаксация напряжений. Релаксация напряжений у конца структурного дефекта обуславливает вязкопластическую деформацию, за счёт которой происходит удлинение трещины, а следовательно, и увеличение коэффициента концентрации напряжений. Таким образом, по мере роста трещины увеличивается интенсивность квазихрупкого разрушения. Однако в квазихрупком состоянии прочность материалов выше, чем в высокоэластическом, поэтому при определённых условиях квазихрупкое состояние будет более долговечным, чем высокоэластическое.

Наибольшее распространение получила разметка, выполняемая красками. Данный вид разметки является наиболее дешёвым, но и наименее долговечным. Быстрый износ

¹⁹ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

²⁰ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

²¹ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

²² Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

²³ Ермакович Д.В. Анализ упруго-вязкой стадии деформирования слоев нежестких дорожных одежд на основе механических диаграмм // Материалы Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Харьков, 1968. С. 57–61.

²⁴ Золотарёв В.А. О некоторых зависимостях структурно-механических свойств асфальтобетона // Материалы межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Киев, 1968. С. 151-154.

разметки из водостойких красок обусловлен прямым воздействием транспортных нагрузок.

В Союздорнии выполнены экспериментальные исследования по изучению износа разметки, выполненной красками [7,8,9,10]. Испытания проводили на лабораторном стенде, главным элементом которого являлась подвижная пара обрешиненных колёс. Целью эксперимента являлось определение количества проходов колёс, необходимого на истирание краски толщиной 1 мкм. Это количество получило название «показатель износостойкости». Параллельно лабораторным исследованиям был проведён комплекс испытаний на эксплуатирующихся дорогах. В результате авторы получили эмпирическую формулу для определения срока службы разметки:

$$T = \frac{a \cdot I \cdot H}{30N}, \quad (3)$$

где T – срок службы разметки, мес.; a – переходный коэффициент, равный 450; I – износостойкость на стенде, прох./мкм; H – толщина слоя, мкм; N – интенсивность движения авт./сут.

Недостатки формулы (3) вытекают из анализа методики лабораторных исследований:

1. Воздействие на разметку оказывалось гладким колесом без регулирования давления воздуха в шине. Поэтому показатель I имеет завышенные значения по сравнению с фактической величиной.

2. Формула не учитывает неодинаковую повторность приложения нагрузок к различным видам разметки.

3. Не учитывается шероховатость покрытия.

Анализ выполненных исследований показал, что в них не учитываются такие существенные факторы, как шероховатость и тип дорожного покрытия, вид разметочной линии. Вопрос о долговечности дорожной разметки необходимо рассматривать, изучая совместную работу разметочного материала и дорожного покрытия.

Анализируя работы, выполненные в области устойчивости слоёв износа дорожного по-

крытия^{25 26 27} [22,32,33,34,35], можно выделить несколько разновидностей разрушений и деформаций, обуславливающих долговечность этого элемента дорожной конструкции.

По И.Н. Христолюбову²⁷ износ поверхностной обработки определяется по формуле

$$h_t = h_o - h_{uc} - h_{e.m} - h_{t.b} + h_{\Delta t}, \quad (4)$$

где h_t – высота выступов зёрен на момент t эксплуатации дороги, мм; h_o – начальная высота зёрен, мм; h_{uc} – износ, обусловленный приработкой и шлифованием зёрен каменного материала, мм; $h_{e.m}$ – износ, обусловленный втапливанием зёрен в покрытие, мм; $h_{t.b}$ – толщина поднятия уровня битума при тепловом расширении, мм; $h_{\Delta t}$ – величина, обусловленная разницей температурного сжатия битума и зёрен каменного материала при охлаждении, мм.

Анализируя (4), следует заметить, что истирание щебня является круглогодичным процессом, а втапливание будет иметь место только в тёплый период года, как и деформация расширения битума $h_{e.m}$. Формула не учитывает возможности износа поверхностной обработки, вызванного отрывом зёрен от материала подложки в результате его хрупкого или квазихрупкого разрушения.

Изменение шероховатости покрытия в процессе приработки зёрен определяется по формуле М.В. Немчинова [33]:

$$R_a = a \cdot \exp(-b \cdot N) + c, \quad (5)$$

где R_a – высота неровностей макрошероховатости, мм; a , b и c – коэффициенты, зависящие от размера щебня и твёрдости покрытия; N – количество прошедших автомобилей.

Эту эмпирическую зависимость можно использовать после проведения большого количества экспериментов с тем, чтобы установить коэффициенты a , b и c для различных материалов поверхностной обработки и покрытия.

Для назначения начальной макрошероховатости $R_{нач}$ М.В. Немчинов [53] рекомендует формулу:

²⁵ Близниченко С.С., Китани В.В. Способы обеспечения долговечности дорожной обработки дорожных покрытий // Тр. Международной научно-технической конференции «Реконструкция и ремонт транспортных сооружений в климатических условиях Севера». М., 1999. С. 19-21

²⁶ Хвоинский Л.А. Исследование и разработка методов обеспечения устойчивости дорожных конструкций автомобильных дорог Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2001. 17 с.

²⁷ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

$$R_{нач} = \frac{(1 - R_{кон})\%}{\Delta R_a \cdot 100\%}, \quad (6)$$

где $R_{кон}$ – макрошероховатость, соответствующая завершению процесса интенсивного втапливания щебня в новое покрытие; ΔR_a – износ, зависящий от интенсивности движения, определяемый по специальной номограмме, %.

$$R_{кон} = R_{нач} \cdot (1 - K), \quad (7)$$

где K – коэффициент приработки слоя.

Обзор работ²⁸ [33] показал целесообразность исследования процесса приработки и шлифования зёрен поверхностной обработки экспериментальным путём. При этом целью эксперимента должно являться получение эмпирических зависимостей, связывающих относительный износ поверхностной обработки и количество реализованных нагрузок, исчисляемых в расчётных единицах.

В зимний период года зёрна каменного материала в слое износа могут отрываться от подложки. В результате на покрытии образуются «лысые места» без слоя поверхностной обработки и разметочного материала [34]. Экспериментальные исследования показывают, что наилучшая устойчивость зёрен достигается при использовании в качестве материала подложки резинобитумной композиции, мастики, катионной эмульсии, полимерно-битумной катионной эмульсии, литой эмульсионно-минеральной катионной смеси.

Теоретическое исследование устойчивости зёрен в слое износа выполнено А.В. Смирновым [22,35]. Условия устойчивости имеют вид:

- для зерна в виде шара:

$$\frac{\theta}{2}(d - W) = \left[\left(\frac{1}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{24PE_2^2}{(1 - \mu_2)^2 d^2}} \right) \lg \phi + c \right] \pi h_n (2d - h_n) \frac{d}{2}. \quad (8)$$

$$\frac{\theta}{2}(d - W) = \left[R_{сж} + R_{раст} + \left(\frac{1}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{24PE_2^2}{(1 - \mu_2)^2 d^2}} \right) \lg \phi + c \right] \pi h_n (2d - h_n) \frac{d}{4}. \quad (9)$$

- для зерна в виде пирамиды:

$$Q = 0.25h \cdot n \cdot d \cdot \sqrt{3(R_{срез} + R_{раст}) + 3d^2 \cdot R_{срез}}. \quad (10)$$

$$Q = \frac{1}{3} \left[2h \cdot n \cdot \sqrt{3 \cdot (R_{срез} + R_{сж}) + 3d \cdot R_{раст} - P\sqrt{3}} \right], \quad (11)$$

где d – диаметр шарообразного зерна или шара, описываемого вокруг пирамиды, м; Q – горизонтальное усилие, передаваемое колесом на зерно, Н; W – деформация вдавливания зерна в пневматик; E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пневматического колеса; $R_{срез}$, $R_{сж}$, $R_{раст}$ – прочность льда на срез, сжатие и растяжения, МПа.

Работа А.В. Смирнова является одной из немногих в области оценки устойчивости зерна при отрыве колесом автомобиля. Однако в формулах (8) – (11) не учитываются продолжительность напряжённого состояния и количество реализованных нагрузок. В связи с чем невозможно определить срок службы зёрен (момент времени, соответствующий отрыву зёрен). А в формулах (10)

²⁸ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: Автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

– (11) имеет место суммирование слагаемых разной размерности (что вряд ли допустимо). Развитие методики А.В. Смирнова может заключаться в учёте кратковременности приложения нагрузок и усталостных процессов. В результате раскрытия зависимости механических характеристик от продолжительности силового воздействия и количества циклических нагрузок появится возможность прогнозировать срок службы поверхностной обработки с нанесённой на неё разметкой.

Уменьшение шероховатости покрытия может быть обусловлено втапливанием зёрен каменного материала в покрытие из термопластичного материала. По А.В. Смирнову количество реализованных нагрузок, необходимых на втапливания зерна с относительной остаточной деформацией $\lambda = d/h$, описывается формулой

$$N_{\lambda} = \frac{365 \cdot T \cdot i}{12\gamma} \cdot 10^{\left(\frac{2 \cdot E_d \cdot \lambda}{\pi \cdot \sigma_{срi} \cdot \mu} \right)}, \quad (12)$$

где T – срок службы поверхностной обработки, лет; γ – коэффициент, принимаемый для двухполосной проезжей части, равный 1, для четырёхполосной 0,75; i – число тёплых месяцев в году с температурой покрытия выше 0°C ; λ – допускаемая значения относительной остаточной деформации (d/h); $\sigma_{срi}$ – среднее напряжение в слое под зерном в i -й месяц тёплого периода года, МПа; E_d – модуль деформации материала покрытия, МПа; μ – коэффициент Пуассона материала покрытия.

Глубину втапливания зёрен щебня можно определить из многочисленных разновидностей деформационных и реологических теорий^{29 30} [25,28,35,36].

Подробный анализ методик прогнозирования необратимых деформаций, накапливаемых дорожными упруговязкопластическими материалами, выполнен в работе³¹. Из этой работы следует, что известные методики позволяют достоверно определять накапливаемые дорожной конструкцией пластические

деформации при вариации величины и продолжительности нагрузки в сравнительно небольшом диапазоне. Дорожное покрытие воспринимает нагрузки от разных типов транспортных средств, что обуславливает неоднородность возникновения напряжения величиной от 0,2 до 0,65 МПа и более. Поэтому для разного состава движения наилучшие результаты будут давать разные методики.

Известны методики прогнозирования необратимой деформации, справедливые для различного уровня напряжённого состояния [22,24,25,28,30,31,35,36]. Они предназначены для прогнозирования необратимой деформации, накапливаемой грунтом земляного полотна. В этих методиках земляное полотно рассматривается как полупространство, заполненное упруговязкопластическим материалом и ограниченное снизу зонами с различным уровнем напряжённого состояния. Асфальтобетонное покрытие не может рассматриваться как полупространство. Поэтому применение к данному конструктивному элементу методик³² [36] требует изменения расчётной схемы.

Следуя моделям линейно-деформируемого и упругого сжимаемого слоя [17,18], запишем формулу для определения деформации втапливания шара по завершению реализации N нагрузок:

$$h_{\partial\partial} = \psi \cdot p \cdot h_{сн} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \left[\frac{1}{E_{\partial}} - \frac{1}{E_y} \right] \cdot (a + \beta \cdot \lg N \cdot r), \quad (13)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий жёсткость штампа; p – давление, передаваемое зерном на покрытие, МПа; $h_{сн}$ – толщина сжимаемого слоя, м; μ – коэффициент Пуассона материала покрытия; E_{∂} и E_y – модуль деформации и модуль упругости, соответствующие продолжительности воздействия первой транспортной нагрузки, МПа; a и β – коэффициенты, определяемые опытным путём; N – количество реализованных нагрузок в пределах одной

²⁹ Хвоинский Л.А. Исследование и разработка методов обеспечения устойчивости дорожных конструкций автомобильных дорог Западной Сибири: Автореф. канд. техн. наук. Омск, 2001. 17 с.

³⁰ Александров А.С. Учет упруговязкопластических свойств связанных грунтов при проектировании дорожных одежд: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2001. 24 с.

³¹ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: Автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

³² Александров А.С. Учет упруговязкопластических свойств связанных грунтов при проектировании дорожных одежд: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2001. 24 с.

полосы движения; r – коэффициент, учитывающий распределение проходов транспортных средств по ширине проезжей части.

Основным недостатком зависимости (13) является то, что необратимая деформация возникает при сколь угодно малом давлении и связана с последним линейной зависимостью. Следовательно, (13) даёт удовлетворительные результаты при вариации давлений в сравнительно небольшом диапазоне, в котором соблюдается пропорциональность пластической деформации и приложенного давления.

Выполненный анализ существующих методов оценки работы дорожных покрытий и срока службы поверхностной обработки показал, что эти методы, после некоторых уточнений, могут использоваться при анализе совместной работы дорожной разметки, нанесённой на шероховатое покрытие. Величину износа дорожной разметки ($\phi_{раз}$) на шероховатых покрытиях можно определить как сумму различных разновидностей износа, являющихся следствием стирания краски с вершин зёрен каменного материала ($h_{кр}$), шлифования ($h_{ис}$) и втапливания зёрен ($h_{эм}$) этого материала:

$$\phi_{раз} = h_{ис} + h_{эм} + h_{кр}. \quad (14)$$

Совершенно очевидно, что различные составляющие износа разметки будут не равны друг другу. Неодинаковым будет и количество нагрузок, по мере реализации которых каждая из составляющих износа разметки достигает своего максимального значения. Тогда срок службы разметки, выраженный в расчётных нагрузках, найдётся по формуле

$$N_{раз} = N_{п.о.} + N_{кр}, \quad (15)$$

где $N_{п.о.}$ и $N_{кр}$ – количество повторных нагрузок, необходимых на износ поверхностной обработки (каменного материала) и краски.

Из выражения (15) вытекает главное требование к совершенствованию формул (8) – (11), заключающееся в том, что до момента отрыва зёрен от материала подложки должно реализоваться как минимум $N_{раз}$ нагрузок.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Критический анализ исследований, результаты которых могут быть использованы для более эффективного прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной дорожной разметки, позволяет сделать следующие выводы:

1. Прогнозирование срока службы (функциональной долговечности) горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации дороги является очень сложной задачей, т.к. более 40 факторов влияют на её долговечность.

2. При анализе зарубежных публикаций по рассматриваемому вопросу нам не встретились работы по прогнозированию функциональной долговечности горизонтальной разметки путём создания сложных математических моделей. Имеются лишь простейшие зависимости величины износа разметки от количества проходов транспортных средств. Исследования сосредоточены на результатах испытаний различных разметочных составов на разных дорожных покрытиях.

3. Попытки создать комплексную модель, позволяющую прогнозировать функциональную долговечность линий разметки, встречаются в публикациях некоторых авторов, однако с нашей точки зрения они вряд ли оправданы из-за слишком большого числа факторов, влияющих на долговечность разметки.

4. Формулы, входящие в нормативно-методические документы и позволяющие рассчитывать срок службы разметки, получены эмпирическим путём, что ограничивает область их применения условиями, в которых выполнены эксперименты. Некоторые частные математические модели имеют ошибки и другие недостатки.

5. Наиболее долговечны линии разметки, нанесённые термопластом. Расчёт срока службы этих относительно толстых слоёв (3–6 мм) базируется на классических решениях и моделях, разработанных в прошлом веке.

Избыточная толщина линий из термопласта объясняется несовершенством технологии нанесения этого разметочного материала.

6. Существенное влияние на срок службы разметки оказывает шероховатость покрытия, что недостаточно учитывается в существующих моделях.

Например, маркировочные ленты имеют хороший контакт (по всей площади) с гладкими покрытиями, а на шероховатых покрытиях контакт осуществляется не по всей площади. Поэтому срок службы этого материала на гладком покрытии существенно выше, чем на шероховатой поверхности.

Противоположная картина наблюдается при устройстве разметки красками. На шероховатом покрытии колесо автомобиля не контактирует с разметкой, расположенной во

впадинах шероховатостей. Поэтому износ разметки на гладких покрытиях должен наступать гораздо раньше, чем на шероховатой поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного поставлена задача разработать ряд математических моделей, позволяющих в большей мере учитывать свойства дорожного покрытия, местоположение и разновидность разметочных линий и более достоверно прогнозировать функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки из конкретных материалов на разных видах покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.: Транспорт, 1990. 303 с.
2. Романычева Т.И. Разметка дорог // Автомобильные дороги. 1980. № 3. С. 12.
3. Методические рекомендации по выбору и применению материалов для разметки автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2002. 28 с.
4. Методические рекомендации по нанесению дорожной разметки на цементобетонные покрытия автомобильных дорог. М.: «Информавтодор», 2004. 39 с.
5. Сиротюк В.В., Егоров О.В. Установка для плазменного напыления дорожной разметки // Вестник фонда поддержки вузовской и отраслевой дорожной науки. Омск: СибАДИ, 1995. №2. С.59-61.
6. Носов В.П., Бочкарев В.И. Моделирование условий работы материалов для дорожной разметки // Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ. М.: МАДИ, 2000. С. 123-130.
7. Костова Н.З., Юмашев В.М. Вокруг разметки // Автомобильные дороги. 2000. № 10. С. 8-9.
8. Костова Н.З., Юмашев В.М. Разметка автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2000. 47 с.
9. Юмашев В.М., Костова Н.З. Новая краска для разметки автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 1999. № 1. С. 22-25.
10. Юмашев В.М., Костова Н.З. Новые материалы для разметки автомобильных дорог // Тр. Союздорнии. 1999. Вып. 197. 32 с.
11. Залуга В.П. Инженерное оборудование автомобильных дорог // Автомобильные дороги. 1982. № 5. С. 72.
12. Jushkov B.S., Pugin K.G., Jushkov W.S. Application color asphalt on the basis of waste products of metallurgy as road sectoring // Bulletin PGU. «Urbanistics», Perm. 2011. № 1. pp.68-73.
13. Jushkov B.S., Burgonutdinov A.M., Jushkov W.S. Modern approaches on drawing road horizontal sectoring // Bulletin PGU. «Preservation of the environment, transport, safety of ability to live». Perm. 2011. № 1. pp.136-141.
14. Андрейкив А.Е. Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии. Киев: Наук. думка, 1979. 138 с.
15. Власов В.З. Общая теория оболочек. М.: АН СССР, 1962. 528 с.
16. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике. М.: Гостехиздат, 1962. 784 с.
17. Горбунов-Посадов М.И. Таблицы для расчета тонких плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1959. 100 с.
18. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 627 с.
19. Коренев Б.Г., Черниговская Е.М. Расчет плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 355 с.
20. Медников И.А. О прочности тонкого слоя на поверхности дороги. М.: МАДИ, 1974. 36 с.
21. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М.: Стройиздат, 1954. 56 с.
22. Смирнов А.В., Малышев А.А., Агалаков Ю.А. Механика устойчивости и разрушения дорожных конструкций. Омск: СибАДИ, 1997. 91 с.
23. Синицин А.П. Расчет балок и плит на упругом основании за пределом упругости. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
24. Гольдштейн Н.М. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 368 с.
25. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
26. Паталеев А.В., Баженов С.Я. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Трансжелдориздат, 1938. 314 с.
27. Бартенев Г.М. Прочность и механика разрушения полимеров. М.: Химия, 1984. 280 с.
28. Иноземцев А.А. Сопротивление упруго-вязких материалов. Ленинград: Стройиздат, 1966. 168 с.
29. Ржаницин А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 418 с.

30. Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 200 с.

31. Эйрих Ф. Реология теория и приложения. М.: ИЛ. 824 с.

32. Абрамов Я.П. Совершенствование способа устройства шероховатых слоёв на асфальтобетонных покрытиях // Повышение качества строительства асфальтобетонных и чёрных покрытий. М.: Союздорнии, 1988. Вып. 117. С. 5-9.

33. Немчинов М.В. Проектирование и строительство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. М.: МАДИ, 1982. 144 с.

34. Плотнокова И.А. Эффективность применения различных вяжущих при строительстве поверхностных обработок // Повышение транспортно-эксплуатационных качеств поверхности дорожных и аэродромных покрытий. М.: Союздорнии, 1990. С. 74-83.

35. Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций. Омск: СибАДИ, 1993. 128 с.

36. Александрова Н.П., Александров А.С. Пути совершенствования методик расчёта системы «дорожная одежда – земляное полотно» по остаточной деформации // Тр. СибАДИ. Омск. 2001. Вып. 19. С. 56-69.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.P., Sidenko V.M. Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Operation of highways and organization of traffic]. Moscow, Transport, 1990. 303 p. (in Russian)

2. Romanycheva T.I. Razmetka dorog [Road marking]. Avtomobil'nye dorogi, 1980, no 3, pp. 12. (in Russian)

3. Metodicheskie rekomendatsii po vyboru i primeneniyu materialov dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [Guidelines for the selection and use of materials for roadways marking]. Moscow, Soyuzdornii, 2002. 28 p. (in Russian)

4. Metodicheskie rekomendatsii po naneseniyu dorozhnoi razmetki na tsementobetonnye pokrytiya avtomobil'nykh dorog [Guidelines for the application of road markings on the roads cement-concrete covering]. Moscow, Informavtodor, 2004. 39 p. (in Russian)

5. Sirotyuk V.V., Egorov O.V. Ustanovka dlya plazmennogo napyleniya dorozhnoi razmetki [Installation for plasma spraying of road marking]. Vestnik fonda podderzhki vuzovskoi i otraslevoi dorozhnoi nauki, Omsk: SibADI, 1995, no 2, pp. 59-61. (in Russian)

6. Nosov V.P., Bochkarev V.I. Modelirovanie uslovii raboty materialov dlya dorozhnoi razmetki [Modeling of working conditions of materials for road marking]. Nauchno-tekhnicheskie problemy dorozhnoi otrasli stran SNG, MADI, 2000, pp. 123-130. (in Russian)

7. Kostova N.Z., Yumashev V.M. Vokrug razmetki [Around the layout]. Avtomobil'nye dorogi, 2000, no 10, pp. 8-9. (in Russian)

8. Kostova N.Z., Yumashev V.M. Razmetka avtomobil'nykh dorog [Roads marking]. Moscow, Soyuzdornii, 2000. 47 p. (in Russian)

9. Yumashev V.M., Kostova N.Z. Novaya kraska dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [New paint for road marking]. Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli, 1999, no 1, pp. 22-25. (in Russian)

10. Yumashev V.M., Kostova N.Z. Novye materialy dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [New materials for road marking]. Tr. Soyuzdornii, 1999, Vyp. 197, 32 p. (in Russian)

11. Zaluga V.P. Inzhenernoe oborudovanie avtomobil'nykh dorog [Engineering equipment of the roads]. Avtomobil'nye dorogi, 1982, no 5, pp. 72. (in Russian)

12. Jushkov B.S., Pugin K.G., Jushkov W.S. Application color asphalt on the basis of waste products of met-allurgy as road sectoring. Bulletin PGTU, 2011, no 1, pp.68-73.

13. Jushkov B.S., Burgonutdinov A.M., Jushkov W.S. Modern approaches on drawing road horizontal sectoring. Bulletin PGTU, 2011, no 1, pp.136-141.

14. Andreikiv A.E. Razrushenie kvazikhrupkikh tel s treshchinami pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Destruction of quasi-brittle bodies with cracks in a complex stress state]. Kiev: Nauk. dumka, 1979. 138 p. (in Russian)

15. Vlasov V.Z. Obshchaya teoriya obolochek [General theory of shells]. Moscow, AN SSSR, 1962. 528 p. (in Russian)

16. Vlasov V.Z. Obshchaya teoriya obolochek i ee prilozheniya v tekhnike [General theory of shells and its applications in engineering]. Moscow, Gostekhzdat, 1962. 784 p. (in Russian)

17. Gorbunov-Posadov M.I. Tablitsy dlya rascheta tonkikh plit na uprugom osnovanii [Tables for the calculation of thin plates on an elastic base]. Moscow, Gosstroizdat, 1959. 100 p. (in Russian)

18. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A., Solomin V.I. Raschet konstruktssii na uprugom osnovanii [Analysis of the structures on elastic foundation]. Moscow, Stroiizdat, 1984. 627 p. (in Russian)

19. Korenev B.G., Chernigovskaya E.M. Raschet plit na uprugom osnovanii [Analysis of

plates on elastic Foundation]. Moscow, Gostroiizdat, 1962. 355 p. (in Russian)

20. Mednikov I.A. O prochnosti tonkogo sloya na poverkhnosti dorogi [On the strength of the thin layer on the surface of the road]. Moscow, MADI, 1974. 36 p. (in Russian)

21. Pasternak P.L. Osnovy novogo metoda rascheta fundamentov na uprugom osnovanii pri pomoshchi dvukh koeffitsientov posteli [Bases of a new method of calculation of the bases on the elastic basis by means of two coefficients of a bed]. Moscow, Stroiizdat, 1954. 56 p. (in Russian)

22. Smirnov A.V., Malyshev A.A., Agalakov Yu.A. Mekhanika ustoichivosti i razrusheniya dorozhnykh kon-struksii [Mechanics of stability and blow-up-pavements structures]. Omsk: SibADI, 1997. 91 p. (in Russian)

23. Sinitsin A.P. Raschet balok i plit na uprugom osnovanii za predelom uprugosti [Calculation of beams and plates on an elastic base beyond the elastic limit]. Moscow, Stroiizdat, 1964. 156 p. (in Russian)

24. Gol'dshtein N.M. Mekhanicheskie svoistva gruntov [Mechanical properties of soils]. Moscow, Stroiizdat, 1973. 368 p. (in Russian)

25. Maslov N.N. Mekhanika gruntov v praktike stroitel'stva [Soil mechanics in the practice of construction]. Moscow, Stroiizdat, 1977. 320 p. (in Russian)

26. Pataleev A.V., Bazhenkov S.Ya. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Soil mechanics, bases and foundations]. Moscow, Transzhel-dorizdat, 1938. 314 p. (in Russian)

27. Bartenev G.M. Prochnost' i mekhanika razrusheniya polimerov [Strength and fracture mechanics of polymers]. Moscow, Khimiya, 1984. 280 p. (in Russian)

28. Inozemtsev A.A. Soprotivlenie uprugovyazkikh materialov [Resistance of elastic-viscous materials]. Leningrad: Stroiizdat, 1966. 168 p. (in Russian)

29. Rzhantsin A.R. Teoriya polzuchesti [Creep theory]. Moscow, Stroiizdat, 1968. 418 p. (in Russian)

30. Ter-Martirosyan Z.G. Reologicheskie parametry gruntov i raschety osnovanii sooruzhenii [Rheological parameters of soils and calculations of soil conditions]. Moscow, Stroiizdat, 1990. 200 p. (in Russian)

31. Eirikh F. Reologiya teoriya i prilozheniya [Rheology theory and applications]. Moscow IL. 824 p. (in Russian)

32. Abramov Ya.P. Sovershenstvovanie sposoba ustroystva sherokhovatykh sloev na asfal'tobetonnykh pokrytyakh [Improvement of the device layers on a rough asphalt pavements. Im-

provement of construction quality of asphalt and black in indoor]. Povyshenie kachestva stroitel'stva asfal'tobetonnykh i chernykh pokrytii, Moscow, Soyuzdornii, 1988, Vyp. 117, pp. 5-9. (in Russian)

33. Nemchinov M.V. Proektirovanie i stroitel'stvo dorozhnykh pokrytii s sherokhovatoi poverkhnost'yu [Design and construction of road surfaces with rough under-surface]. Moscow, MADI, 1982. 144 p. (in Russian)

34. Plotnikova I.A. Effektivnost' primeneniya razlichnykh vyazhushchikh pri stroitel'stve poverkhnostnykh obrabotok [Application efficiency of the various binders in the construction of surface treatments]. Povyshenie transportno-ekspluatatsionnykh kachestv poverkhnosti dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii, Moscow, Soyuzdornii, 1990. pp. 74-83. (in Russian)

35. Smirnov A.V. Prikladnaya mekhanika dorozhnykh i aerodromnykh konstruksii [Applied mechanics of road and airport structures]. Omsk: SibADI, 1993. 128 p. (in Russian)

36. Aleksandrova N.P., Aleksandrov A.S. Puti sovershenstvovaniya metodik rascheta sistemy «dorozhnaya odezhda – zemlyanoe polотно» po ostatochnoi deformatsii [Ways of improvement of calculation methods of the system “road pavement – subgrade” on residual deformation]. Tr. SibADI, Omsk. 2001, Vyp. 19, pp. 56-69. (in Russian)

Поступила 20.04.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голубенко Владимир Владимирович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: v-golubenko@yandex.ru).

Александров Анатолий Сергеевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: nata26.74@mail.ru).

Сиротюк Виктор Владимирович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sirvv@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Golubenko Vladimir (Omsk, Russia) – candidate of technical science, Associate Professor of the Roads Designing Department, Siberian State Automobile and Road University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., email: v-golubenko@yandex.ru).

Aleksandrov Anatoliy (Omsk, Russia) – candidate of technical science, Associate Professor of the Construction and Operation Department, Siberian State Automobile and Road University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: nata26.74@mail.ru).

Sirotyuk Victor (Omsk, Russian Federation) – doctor of technical science, Professor of the Roads Designing Department, Siberian State Automobile and Road University (644008, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: sirvv@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Голубенко В.В. Сбор материалов по теме исследования, написание статьи.

Александров А.С. Сбор и критический анализ источников, формулировка выводов и дальнейших задач исследования.

Сиротюк В.В. Формулировка цели, метод исследования, написание, редактирование и оформление статьи.

AUTHOR CONTRIBUTION

Golubenko Vladimir. Collecting materials on the research topic, writing an article.

Aleksandrov Anatoliy. Collection and critical analysis of sources, formulation of conclusions and further research objectives.

Sirotyuk Victor. Purpose formulation, research method's formulation, writing, editing and compiling of the article.

УДК 691.3

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, А.С. Милькина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Важной народнохозяйственной задачей является обеспечение современной строительной индустрии высокопрочными и эффективными материалами, изготовленными с использованием новых технологических подходов и техногенных материалов. Эти материалы отличаются от обычного повышенным содержанием цементного камня, меньшей крупностью зерен, многокомпонентностью состава, повышенной удельной поверхностью заполнителя. Решение этой задачи будет актуальным всегда благодаря постоянному росту требований к качеству строительных материалов и конструкций.

Цель написания статьи. Изучение условий формирования структуры бетонов нового поколения и разработка приемов управления структурообразующими процессами, влияющими на его качество.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций; анализ литературных источников – в научно-технической библиотеке Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. При этом использовали стандартные методики испытаний, а также положения инструкции по эксплуатации отдельных приборов и оборудования.

Выводы. Построены модели структурообразования в высокопрочных твердеющих композициях, в которых осуществлен принцип оптимизации структуры, заключающийся в создании высокой степени упорядоченности ее составляющих элементов и новообразований, а также увеличении адгезии частиц цементного камня. Благодаря введению в состав техногенного сырья и органической добавки появилась возможность снижения расхода исходных материалов, а также расхода энергии и ресурсов. Механизм и принципы управления структурообразованием в настоящее время интенсивно изучаются и будут объяснены в последствие на основе синергетических представлений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многокомпонентность, высокопрочный бетон, структурообразование, бетон нового поколения, техногенное сырье, высококачественные композиты.

© А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, А.С. Милькина



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

FEATURES OF THE STRUCTURE OF NEW GENERATION CONCRETE WITH THE USAGE OF ARTIFICIALLY-PRODUCED MATERIALS

A.D. Tolstoy, V.S. Lesovik, A.S. Milkina

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. The important national economic task is to provide the modern construction industry with high-strength and effective materials made using new technological approaches and artificially-produced materials. These materials differ from the usual one by high content of cement stone, smaller grain size, multicomponent composition, increased specific surface of the filler. Therefore, the research of such problem would be always relevant according to the constant growth of requirements for the building materials and structures quality.

Materials and methods. Experimental studies were conducted in the laboratories of the Department of Construction Materials, Products and Structures. The literary sources' analysis was made in the scientific and technical library of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. At the same time, standard test procedures and the provisions of the operating instructions for individual devices and equipment were used in the research.

Discussion and conclusions. As a result, the models of structure formation in high-strength hardening compositions, in which the principle of structure optimization consisting in creation of the high degree ordering of its constituent elements and tumors, as well as in increasing the adhesion of cement stone particles, are implemented. In addition, the usage of artificially-produced materials and organic additives produces the possibility of reducing the consumption of raw materials and consumption of energy and resources. The mechanism and principles of structure formation management are intensively studied and would be explained later on the basis of synergetic concepts.

KEYWORDS: multicomponent, high-strength concrete, structurization, new generation concrete, artificially-produced materials, high-quality composites.

© A.D. Tolstoy, V.S. Lesovik, A.S. Milkina



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и применение бетонов нового поколения (БНП), которые значительно отличаются от рядовых повышенным содержанием цемента, меньшей крупностью частиц, многокомпонентностью состава, а также повышенной дисперсностью заполнителя, достаточно актуальны [1,2,3,4,5, 6]. Появление таких бетонов открыло новую эру в строительстве благодаря их уникальным свойствам, а именно: высокой прочности и коррозионной стойкости, водонепроницаемости и морозостойкости, регулируемой деформативности, что позволило реализовать достаточно сложные строительные проекты [7,8,9,10,11].

Важным в этом плане является новое научное направление геоника, являющееся теоретической основой для создания высококачественных композитов. Это направление базируется на использовании результатов исследований геологических процессов в толще горных пород при создании строительных материалов будущего [12]. Благодаря геонике стало возможным разработать систему проектирования БНП с применением сырья специальными подготовленными геологическими процессами.

Изучение процессов структурообразования композитов с техногенными компонентами создает предпосылки к активизации работ по оптимизации составов высокопрочных материалов за счет подбора правильного соотношения новых техногенных продуктов¹. Это позволит существенно снизить материальные и энергетические затраты при производстве высокопрочных композиций. Вместе с тем механизмы формирования структуры высокопрочного бетона с органоминеральными комплексными добавками и техногенными компонентами остаются малоизученными. В связи с

этим более глубокие исследования в данном направлении являются актуальными [13,14].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Применение современных добавок, таких как гиперпластификатор карбоксилатный MF 1641, французский гиперпластификатор PREMIA 360 при его модификации водорастворимыми продуктами углерода («Астраленам С») и других, оказывает положительное влияние на образование структуры бетонов нового поколения. В настоящее время известен БНП класса В100-125 [15], в связи с этим актуальным является исследование условий структурообразования высокопрочного композита многокомпонентного состава². Многокомпонентность состава бетонов нового поколения дает свои результаты, число компонентов в составе может быть различным (5–6 и более). Также большое значение имеет качество применяемых компонентов, заполнителей и наполнителей: гранулометрический состав, удельная поверхность частиц, пустотность, качество поверхности, прочность и т.д.

При повышении целесообразности производства БНП необходимо учитывать достаточно важный фактор—создание методов оптимизации структуры, способствующей получению высокой степени упорядоченности составляющих ее элементов, изготовление композиционных вяжущих веществ, в состав которых входит техногенное сырье³.

Несмотря на все выше перечисленные положительные характеристики бетонов нового поколения⁴ в строительной индустрии его применяют реже, чем обычный бездобавочный бетон из-за его более высокой стоимости. Поэтому важен поиск многотоннажных минеральных веществ, в особенности техногенного происхождения, позволяющих повысить доступность применения новых высокопроч-

¹ Глаголев Е.С., Лесовик В.С., Толстой А.Д., Крымова А.И., Кузьмина Т.С. Теоретические аспекты применения техногенного сырья в плотных композиционных материалах // В сборнике: НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 74–83.

² Каспер Е.А., Селезнёва А.И., Каспер Е.И. Быстротвердеющий высокопрочный мелкозернистый бетон // В сборнике: Нефть и газ Западной Сибири. Материалы Международной научно-технической конференции. 2017. С. 126–129.

³ Кочетков А.А., Румянцев А.В., Панчина А.А., Кильдеев И.Р., Голов И.А. Высокопрочные бетоны: технология производства и область применения в современных условиях // В сборнике: Материалы XX научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва в 3 ч.. 2016. С. 7–10.

⁴ Балыков А.С., Володин В.В., Каштанов А.А., Каштанова Е.А., Коровкин Д.И., Низина Т.А. Высокопрочные мелкозернистые бетоны на основе природного и техногенного сырья // Огарёв-Online. 2017. № 11 (100). С. 3.

ных композиций⁵, не снижая при этом высоких строительно-технических и эстетических показателей. Комплексные добавки являются перспективными применительно к высокопрочным и высококачественным мелкозернистым бетонам, которые вводятся в состав в виде водных растворов, порошков и эмульсий [16,17,18].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Твердеющие системы порошковых бетонов с техногенными компонентами позволяют получить прочность до 80...100 МПа, это объясняется уплотнением структуры искусственного камня.

Уплотнение и упрочнение структуры обусловлено ростом кристаллической фазы и замещением ими водных контактов между отдельными фазами новообразований (рисунк).

Твердый каркас у всех образцов БНП состоит из отдельных частиц компонентов техногенного происхождения различной удельной поверхности с ярко выраженной контактной зоной с новообразованиями. При большем увеличении можно заметить, что эти частицы почти полностью покрыты продуктами гидратации, так как зерна техногенного сырья

являются подложками для формирования новообразований, следствием чего является обилие глобул, сросшихся с их поверхностью. Кроме того, входящий в состав микрокремнезем выступает в качестве центров кристаллизации при гидратации, а более крупные частицы порошкового вяжущего играют роль микронаполнителя, снижая возможность усадочных деформаций, улучшая эксплуатационные характеристики композита. Кроме того, присутствие микрокремнезема (отход производства ферросилиция), алюмосодержащей добавки, отсева дробления кварцитопесчаника позволяет значительно повысить основные строительно-технические и эксплуатационные свойства бетона и строительных изделий, не уменьшая их конструктивной жесткости, устойчивости и долговечности (таблица). Данная цель была достигнута путем уплотнения структуры, уменьшения пор и микротрещин.

Гелеобразная фаза выступает в качестве пластичной матрицы, объединяющей отдельные кристаллические сrostки в единый каркас (рисунок, справа). Ввод микрокремнезема в совокупности с глиноземистым цементом дает прирост конечной прочности при сжатии образцов кубов до 30...40%. Частицы микрокремнезема вступают в реакцию с гидроокси-

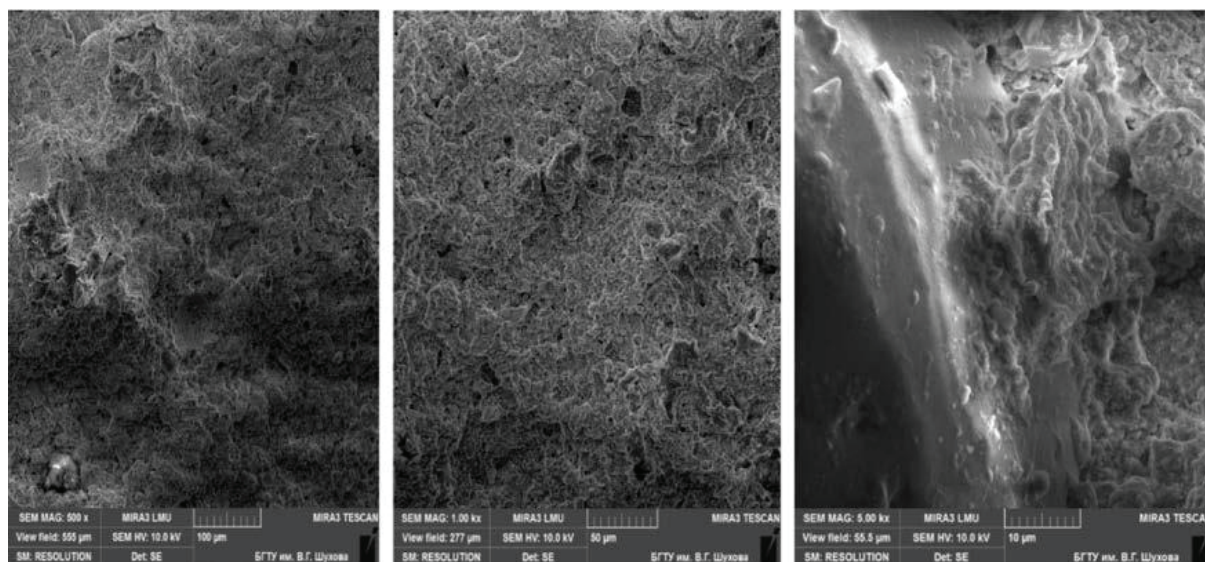


Рисунок – Микроструктура высокопрочного бетона нового поколения

Figure – Microstructure of high-strength concrete of new generation

⁵ Николаев А.И., Холькин А.И. Комплексное нетрадиционное сырье, техногенные отходы и вторичные ресурсы как источники функциональных материалов // В сборнике: Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья Плаксинские чтения – 2014. 2014. С. 19–22.

дом кальция, освобождаемым при гидратации портландцемента, вследствие чего синтезируется гидросиликат кальция.

Ускорению реакции взаимодействия способствует высокая дисперсность микрокремнезема. При распределении частиц большое количество реактивных сферических частиц микрокремнезема окружает каждое зерно цемента, тем самым уплотняя цементный камень, заполняя пустоты прочными продуктами гидратации и усиливая адгезию с заполнителями.

Структура БНП оптимального состава, полученного при совместном помоле с пластифицирующей добавкой, характеризуется однородным строением (см. рисунок). Специфика его структуры приводит к активному формированию новообразований за счет присоединения воды, запасенной в порах породы, и в значительной мере способствует формированию микроструктуры контактных зон и всего камня в целом. Предел прочности при сжатии данного материала составляет до 97 МПа, что в два раза превосходит прочность обычного бездобавочного цемента. Это подтверждается результатами многих физико-механических испытаний.

Изучение микрофотографий твердеющих композиций показало следующее:

- микроструктура цементного камня, полученного при совместном помоле, обладает большей однородностью, чем при раздельном помоле компонентов;
- в микроструктуре цементного камня наблюдается прорастание игольчатых кристал-

лов, пронизывающих объем структуры материала;

- наблюдается присутствие плотных новообразований вблизи зерен наполнителя.

К нормативному сроку твердения микроструктура бетона нового поколения отличается упорядоченностью зернистой составляющей и повышенной плотностью.

На рисунке показана плотная структура БНП, характеризующаяся практически полным отсутствием пор и микротрещин. Этого можно добиться за счет корректирования состава твердеющей композиции, введения необходимого количества тонкодисперсных техногенных компонентов, их плотнейшей упаковки и самоуплотняющего эффекта твердения. Возрастание плотности структуры наблюдалось с нарастающим эффектом в течение времени твердения. Этим предопределяется получение высокопрочного бетона с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. В конце периода твердения, в тот момент, когда искусственный камень достигает своей наивысшей плотности, а следовательно, и динамических характеристик, заканчивается активный процесс связывания портландита. Через 28 сут твердения высокая прочность порошкового бетона с мелкодисперсным заполнителем объясняется высокой степенью упорядоченности зернистой структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сущность модели управления структурообразованием в высокопроч-

ТАБЛИЦА
Показатели строительно-технических свойств бетона
TABLE
Indicators of construction and technical concrete characteristics

Показатель	Бетон	
	тяжелый	БНП
Средняя плотность, кг/м ³	2200...2500	2300
Прочность при сжатии, МПа	10...50	97,5
Водоудерживающая способность, %	78...80	90
Коэффициент конструктивного качества (ККК)	0,17	0,36
Марка по водонепроницаемости, W	2...4	2
Марка по морозостойкости, F	50...150	300
Истираемость, кг/м ²	0,7...0,8	0,36
Усадка	трещины отсутствуют	
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,8...1,2	0,89

ных твердеющих композициях, в которых осуществлен принцип оптимизации структуры, заключается в создании высокой степени упорядоченности ее составляющих элементов и новообразований, а также увеличении адгезии частиц цементного камня. Вопрос о механизме управления структурообразованием является очень сложным, требует многолетнего изучения и постановки экспериментов. В настоящее время можно говорить только о схеме взаимодействия компонентов. Механизм и принципы управления структурообразованием в настоящее время интенсивно изучаются и будут объяснены на основе синергетических представлений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Калашников В.И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М.: Изд-во АСВ. 2007. 368 с.
2. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С. и др. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 47–52.
3. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. Киев: Вища школа, 2007. 208 с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1990. 394 с.
5. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67–69.
6. Bornemann R., Fenling E. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten // Leipziger Massivbauseminar. 2000. Bd. 10. pp. 1–15.
7. Schmidt M., Bornemann R. Möglichkeiten und Grenzen von Hochfester Beton // 14. International Baustofftagung : ibausil; 20-23. Sept. 2000, Weimar, Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus- Universität, 2000. Bd. 1. S. 1083–1091.
8. Tolstoi A.D., Lessowik W.S., Kowaljaw I.A. Pulverbetone auf Kompositbindemitteln mit der Verwendung von Industrieabfällen // 19. Internationale Baustofftagung: ibausil; 16.-18. Sept. 2015, Weimar. , Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015. Bd 2. P. 997–1000.
9. De Larrard Francoi. Ultrafine particles for the making of very high strength concretes // Cement, Concrete and Aggregates. 1990. Vol. 12 (2). Pp. 61–69.
10. Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Полянских И.С. Высокопрочный бетон с дисперсными добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 35–42.

11. Давидюк А.Н. Бетон в строительстве – новые вызовы и перспективы // Вестник НИЦ Строительство. 2017. № 1 (12). С. 5–13.

12. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Новиков К.Ю. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 174–180.

13. Лесовик В.С. Геоника (Геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 206 с.

14. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3–2. С. 267–271.

15. Lesovik V.S., Shukhov V.G., Tolstoy A.D., Glagolev E.S., Novikov K.Y., Valerievna S.V. Powdered concretes on composition binders with application of technogene raw materials // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 24726-24732.

16. Коровкин М.О., Ямбукова А.Р., Ерошкина Н.А. Опыт и перспективы использования высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 2. С. 187–194.

17. Коренькова С.Ф., Гурьянов А.М., Сидоренко Ю.В. Нанодисперсное техногенное сырье для получения многокомпонентных сырьевых смесей // Сухие строительные смеси. 2012. № 3. С. 17–19.

18. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34–37.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu. M., Kalashnikov V. I. *Modified high-strength concrete*. Moscow, Izd-vo ASV, 2007, 368 p. (In Russian)
2. Kalashnikov V. I., Tarakanov O. V., Kuznetsov Yu.S. and others. Concrete of new generation on the basis of dry fine-grained powder mixes. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2012, no. 8, pp. 47-52. (In Russian)
3. Dvorkin L. I., Pashkov I. A. *Building materials from industrial waste*. Kiev: Vyscha SHKOLA, 2007. 208 p. (In Russian)
4. Batrakov VG *Modified concretes*. Moscow: Stroizdat, 1990, 394 p. (In Russian)

5. Tolstoy, A. D., Lesovik V. S., Kovaleva I. A. Organic high strength decorative compositions. *Bulletin of Belgorod state technological University*. V. G. Shukhov, 2014, no. 5, pp. 67-69. (In Russian)

6. Bornemann R., Fenling E. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten. Leipziger Massivbauseminar, 2000, Bd. 10, pp. 1–15.

7. Schmidt M., Bornemann R. Möglichkeiten und Grenzen von Hochfester Beton. 14. International Baustofftagung: ibausil; 20-23. Sept. 2000, Weimar, Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2000, Bd. 1, pp. 1083–1091.

8. Tolstoi A.D., Lessowik W.S., Kowaljaw I.A. Pulverbetone auf Kompositbindemitteln mit der Verwendung von Industrieabfällen. 19. Internationale Baustofftagung: ibausil; 16.-18. Sept. 2015, Weimar, Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015, Bd 2, pp. 997–1000.

9. De Larrard Franconi. Ultrafine particles for the making of very high strength concretes. *Cement, concrete and aggregates*, 1990, Vol. 12 (2), pp. 61–69.

10. Yakovlev G. I., Fedorova G. D., polyanskikh, S. I. High Strength concrete with dispersed additives. *Industrial and civil construction*, 2017, no. 2, pp. 35-42. (In Russian)

11. Davidiyuk A. N. Concrete in construction-new challenges and prospects. *Vestnik SIC Stroitel'stvo*, 2017, no. 1 (12), pp. 5-13. (In Russian)

12. Tolstoy, A. D., Lesovik V. S., Novikov K. Yu. High-Strength concrete on composite binders with the use of technogenic raw materials. Proceedings of the universities. *Investment. Construction. Realty*, 2016, no. 2 (17), pp. 174-180. (In Russian)

13. Lesovik V. S. *Geonika (Geodaetica)*. Examples of implementation in building materials science. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2014, 206 p. (In Russian)

14. Lesovik V. S., Zagorodnyuk L. Kh., Chulkova I. L. the Law of affinity structures in materials science. *Fundamental research*, 2014, no. 3-2, pp. 267-271. (In Russian)

15. Lesovik V.S., Shukhov V.G., Tolstoy A.D., Glagolev E.S., Novikov K.Y., Valerievna S.V. Powdered concretes on composition binders with application of technogene raw materials. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, T. 8, no. 4, pp. 24726-24732.

16. Korovkin M. O., Nabokov A. R., N. Eroshkina.. Experience and prospects of use of high-strength and ultra-high-strength concretes. *Modern scientific researches and innovations*, 2017, no. 2, pp. 187-194. (In Russian)

17. Korenkova S. F., Guryanov A. M., Sidorenko Y. V. Nanosized technogenic raw materials for the production of multicomponent raw mixes. Dry mixes, 2012, no. 3, pp. 17-19. (In Russian)

18. Suleymanova L. A., Lesovik R. V., Glagolev E. S., Sopin D. M. high Quality concrete on technogenic raw materials for responsible products and constructions. *Vestnik of Belgorod state technological University n.a. V. G. Shukhov*, 2008, no. 4, pp. 34-37. (In Russian)

Поступила 24.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Толстой Александр Дмитриевич (Россия, г. Белгород) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) (Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tad56@mail.ru).

Лесовик Валерий Станиславович (Россия, г. Белгород) – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РААСН, заведующий кафедрой строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) (Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: naukavs@mail.ru).

Милюкина Алёна Сергеевна (Россия, г. Белгород) – аспирант, инженер кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) (Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: privat.9292@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tolstoy Alexander Dmitrievich (Belgorod, Russia) – candidate of technical science, Associate Professor of the Department of Building Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, (Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: tad56@mail.ru).

Lesovik Valery Stanislavovich (Belgorod, Russia) – doctor of technical science, Professor, Honored Science Worker of the Russian Federation, Corresponding Member of RAASN, Head of the Department of Building Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, (Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: naukavs@mail.ru).

Milkina Alena Sergeevna (Belgorod, Russia) – graduate, Engineer of the Department of Building Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: privet.9292@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Толстой А.Д. Разработка темы, экспериментальные исследования.

Лесовик В.С. Выработка концепции, теоретическое обоснование.

Милькина А.С. Теоретический анализ, практическое исследование.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tolstoy, A. D. Development of the research theme, experimental research.

Lesovik V. S. Development of the concept, theoretical basing.

Milkina A. S. Theoretical analysis, practical research.

УДК 666.972.5

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ НЕФЕЛИНСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД В БЕТОНАХ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Н.М. Толыпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Диффузия агрессивных компонентов внешней среды вглубь бетона наиболее интенсивно протекает по контактными поверхностям между заполнителем и цементной матрицей. Для снижения проводимости контактных поверхностей целесообразно использовать активные заполнители, которые взаимодействуют с цементной матрицей по тем или иным механизмам, что приводит к росту долговечности изделий.

Материалы и методы. Для проведения сравнительных исследований коррозионной стойкости бетонов на активном заполнителе (уртите) и неактивном (кварцевом песке) использовали методы механических испытаний, рентгенофазового анализа, растровой электронной микроскопии.

Результаты. Установлено, что уртитовый заполнитель значительно повышает прочность и коррозионную стойкость бетона по сравнению с традиционным заполнителем на кварцевом песке. Исследование контактной зоны цементный камень–заполнитель с применением РЭМ показало, что в зоне контакта уррита с цементной матрицей продукты коррозии отсутствуют, при этом контактная зона кварцевого песка и его поверхность обрастают продуктами коррозии, представленными в основном гипсом.

Обсуждение и заключение. Повышение коррозионной стойкости мелкозернистого бетона путем применения активного заполнителя на основе уррита обусловлено снижением проводимости контактных поверхностей между цементной матрицей и заполнителем благодаря химическому сродству породообразующего минерала нефелина к гидроксиду кальция. Дополнительным фактором, усиливающим самоторможение кислотной коррозии, является образование на поверхности нефелина гелеобразного слоя кремнекислоты, который тормозит продвижение ионов гидроксония благодаря протеканию элетроповерхностных процессов. Нефелинсодержащие заполнители целесообразно применять для бетонов, используемых в условиях химической агрессии высокой интенсивности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мелкозернистый бетон, химически активные заполнители, цементная матрица, контактная зона, гидратные фазы.

Статья подготовлена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

© Н.М. Толыпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

APPLICATION OF AGGREGATES OF NEPHELINE BEARING ROCKS IN INCREASED CORROSION RESISTANCE CONCRETE

N.M. Tolypina, E.M. Shigareva, M.V. Golovin, D.S. Shigarev
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. Diffusion of aggressive components of the external environment deeper into the concrete intensively flows through the contact surfaces and between the filler and the cement matrix. Therefore, it is better to apply active fillers that interact with the cement matrix on certain mechanisms for reducing the conductivity of the contact surfaces, which leads to the products durability.

Materials and methods. Methods of mechanical testing, x-ray phase analysis, scanning electron microscopy were used for comparative studies of concrete corrosion resistance with the active filler (urtite) and with the inactive one (quartz sand).

Results. This research indicates that the urtite filler significantly increases the strength and corrosion resistance of concrete in comparison with the traditional filler with quartz sand. The investigation of the contact zone of cement stone-aggregate with the usage of REM demonstrates that there are no corrosion products in the contact zone of urtite with the cement matrix, while the contact zone of quartz sand and its surface acquires corrosion products represented mainly by gypsum.

Discussion and conclusion. The increased corrosion resistance of the fine aggregate concrete through the application of active filler on the basis of urtite provides lower conductivity of the contact surfaces between cement matrix and filler due to the chemical affinity of the rock-forming minerals of nepheline to calcium hydroxide. The additional factor that enhances the self-inhibition of acid corrosion is the formation of the gel-like layer of silica on the surface of nepheline, which inhibits the advancement of hydroxide ions due to the flow of electro-surface processes. Thus, the nepheline fillers are appropriate to apply in concrete, which is used in the conditions of the chemical aggression of high intensity.

KEYWORDS: fine-grained concrete, chemically active aggregates, cement matrix, the surface area, hydrated phases.

The article was prepared by the development program of the Basic University of the BSTU named after V.G. Shukhov

© N.M. Tolypina, E.M. Shigareva, M.V. Golovin, D.S. Shigarev



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Основными способами повышения долговечности строительных материалов гидратационного твердения являются уменьшение количества алюминатов в вяжущем, использование минеральных добавок, связывающих гидроксид кальция и повышение плотности бетона [1,2,3,4]. У материалов конгломератной структуры наибольшей проводимостью обладают контактные поверхности между заполнителем и цементной матрицей, по которым происходит диффузия агрессивных агентов вглубь материала [5,6]. Для снижения проницаемости контактной зоны целесообразно использовать химически активные заполнители [7,8], взаимодействующие с гидроксидом кальция жидкой фазы бетона с образованием в контактной зоне гидросиликатов кальция тоберморитовой группы, тем самым обеспечивающих химическое срастание поверхностных слоев заполнителя с цементной матрицей бетона. Уртиты (нефелиновые породы) являются попутнодобываемым продуктом при разработке апатитонефелиновых месторождений [9,10]. На основе ранее выполненных термодинамических расчетов [11] установлен ряд сравнительной активности минералов, входящих в состав заполнителей бетонов: нефелин > стеклообразный волластонит > кварц > микроклин > альбит > анортит > кристаллический волластонит. Отсюда следует, что нефелин обладает повышенной химической активностью по отношению к гидроксиду кальция, содержащимся в жидкой фазе бетона. Это послужило основой для выбора уррита в качестве химически активного заполнителя. Бетоны на неорганической основе могут подвергаться воздействию кислот низкой концентрации в процессе эксплуатации [12,13,14,15,16,17,18]. В этой связи целью работы является проведение сравнительных исследований коррозионной стойкости цементных бетонов с обычным и химически активным заполнителем (урритом).

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для исследований коррозионной стойкости использовали образцы размером 2,5х2,5х10 см (1:3), изготовленные в соответствии с ГОСТ 310.4–81. После предварительного твердения в течение 28 сут в нормальных условиях образцы бетона испытывали на прочность при изгибе и сжатии, затем помещали в емкости для хранения с 1 %-ным раствором серной кислоты, который периодически обновляли. После хранения 1, 3, 6 и 12 мес образцы бетона испытывали на прочность при изгибе и

сжатии, определяли фазовый состав и микроструктуру корродированной зоны [19]. Коэффициент стойкости определяли как отношение прочности образцов, хранившихся в агрессивной среде, к прочности образцов, твердевших в воде. Для исследования фазового состава применяли рентгеновский дифрактометр ARL9900 Intellipower Workstation и ARLX'TRA с использованием метода порошков в диапазоне двойных углов 2θ 4÷56° и 8÷80°. Микроструктуру изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LM. Все измерения автоматизированы и снабжены программным обеспечением.

В качестве объекта исследований использовали уртиты Хибинского месторождения апатитонефелиновых руд, которые подвергали дроблению на лабораторной щековой дробилке до получения мелкого заполнителя с $M_{кр}=2,3$. Минеральный состав урритов, %: нефелин – 72, эгирин – 16, полевошпат – 6, сфен – 3 и проч. Содержание SO_3 не более 0,2 %, содержание растворимого кремнезема около 20 ммоль/л. Химический состав урритов, %: SiO_2 – 40,99; Al_2O_3 – 27,94; Fe_2O_3 – 4,01; TiO_2 – 2,08; FeO – 1,38; Na_2O – 13,42; K_2O – 4,95; MgO – 1,14; CaO – 3,95; P_2O_5 – 0,82; проч. – 1,02. Контрольные образцы изготавливали на кварцевом песке Нижнеольшанского месторождения ($M_{кр}=1,2$). Химический состав песка, %: SiO_2 = 96; Al_2O_3 = 0,3; Fe_2O_3 = 0,8; CaO = 1,9; MgO = 0,3; SO_3 = 0,05; R_2O = 0,3; ppp = 1,9. В качестве вяжущего применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Белгородский цемент») минерального состава, %: C_3S = 63,2; C_2S = 14,8; C_3A = 6,9; C_4AF = 13,1; n = 2,25; p = 1,24; k_n = 0,92.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование сравнительной коррозионной стойкости мелкозернистого бетона на химически активном (уртите) и неактивном заполнителе (кварцевом песке) проводили по приведенной выше методике. Результаты исследований приведены на рисунке 1.

Необходимо отметить существенную разницу по прочности образцов бетона на уртите и контрольного состава до и после испытаний. Как видно из графиков, приведенных на рисунке 1, повышение предела прочности при сжатии образцов на уртитовом заполнителе начинается через 1 мес, что, по-видимому, обусловлено положительным влиянием кольманта (гипса) и продолжается в течение 6 мес. В то же время у образцов бетона на кварцевом песке после 3-х мес наблюдался спад прочности, вплоть до практически полной потери прочности к 12 мес.

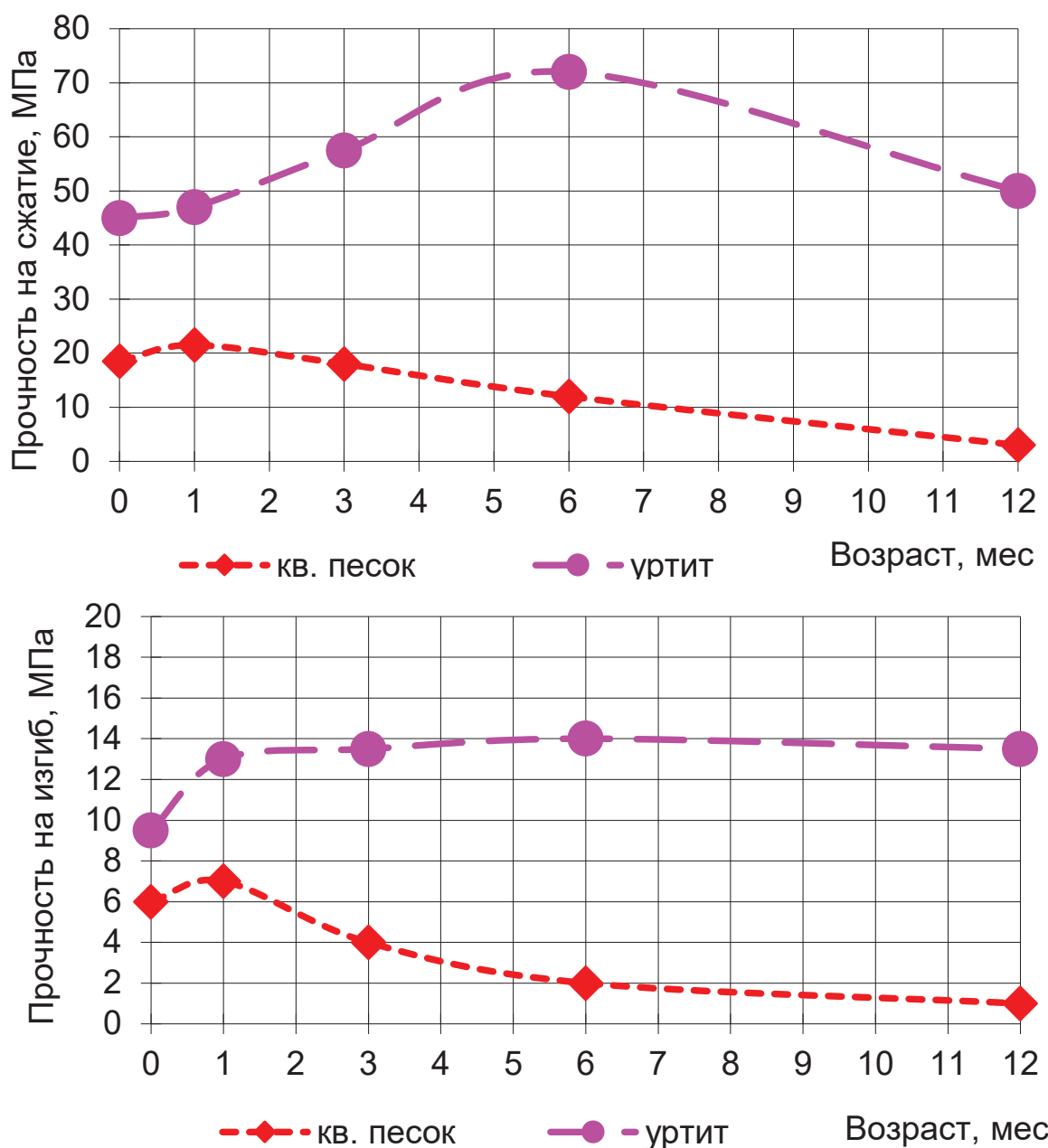


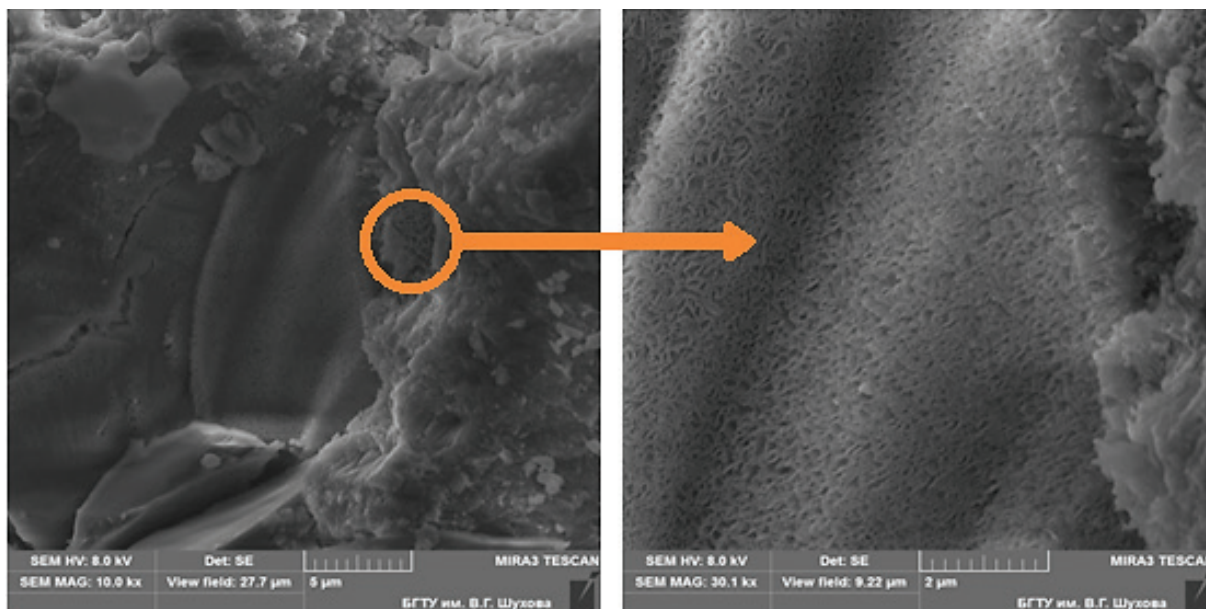
Рисунок 1 – Влияние заполнителей на прочность образцов, твердевших в 1%-ном растворе H_2SO_4

Figure 1 – Effect of fillers on samples strength solidified in 1% solution of H_2SO_4

Коэффициент стойкости образцов мелкозернистого бетона на уртитовом заполнителе составил $K_{C_{12}}=1,2$, контрольных образцов на кварцевом песке $K_{C_{12}}=0,3$. Сопоставление этих данных показывает преимущество химически активного заполнителя уррита, перед неактивными заполнителем (кварцевым песком).

Более высокая прочность и стойкость образцов бетона на заполнителе из уррита обусловлена тем, что уже в нормальных условиях происходит взаимодействие уррита со щелоч-

ными компонентами цемента с образованием волокнистых гелевидных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы (CSH), которые коагулируют крупнокапиллярные поры вокруг частиц заполнителя, являющиеся каналами, по которым происходит проникновение агрессивных агентов вглубь бетонных изделий. Схема реакции для начальной стадии гидратации основного порообразующего минерала нефелина в высокощелочной среде имеет вид: $NaAlSiO_4 + 2OH^- + 2H_2O = Na^+ + Al(OH)_4^- +$



а)

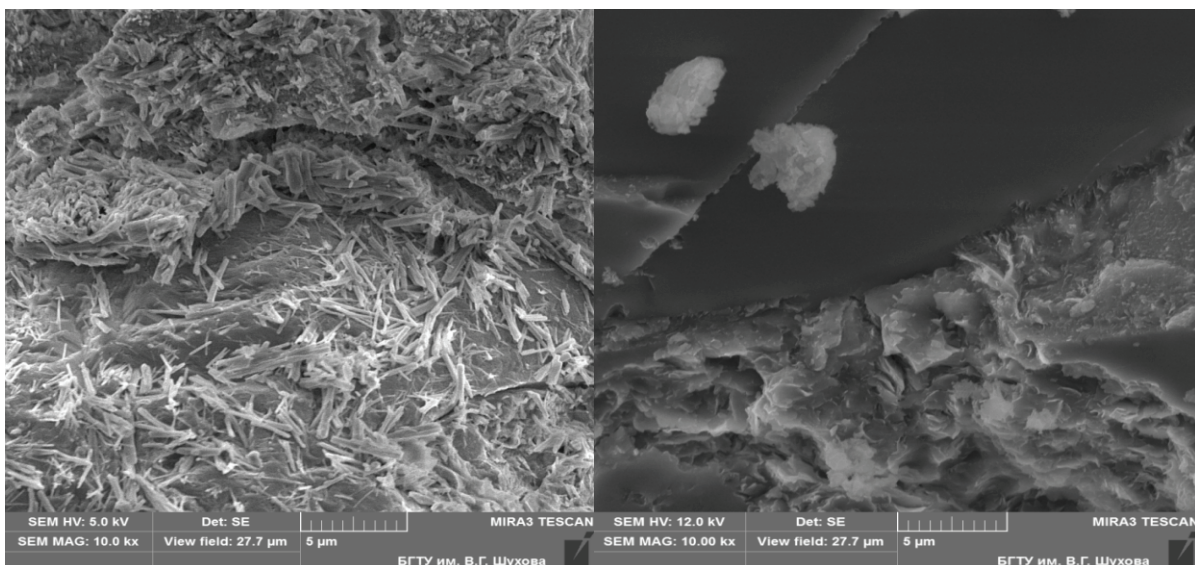
б)

Рисунок 2 – Слой гидросиликатов кальция на контакте уртитового заполнителя с цементным камнем

Figure 2 – Calcium hydrosilicates layer in the contact zone of the urtit filler with cement stone

$\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$. На рисунке 2, а показан боковой срез контактного слоя уррита с цементным камнем, заполненный слоем гидросиликатов кальция, образующихся при взаимодействии поверхности заполнителя с гидроксидом кальция жидкой фазы бетона. На рисунке 2, б при более

крупном увеличении видна микрокристаллическая сотовая структура гелеобразных гидратных соединений с треугольной формой, характерной для автоклавированных систем $\text{SiO}_2\text{--CaO--H}_2\text{O}$.



а)

б)

Рисунок 3 – Накопление продуктов коррозии в зоне контакта между заполнителем и цементной матрицей: а) кварцевый песок, б) уртит

Figure 3 – Accumulation of corrosion products in the contact zone between the filler and the cement matrix: a) quartz sand, b) urtit

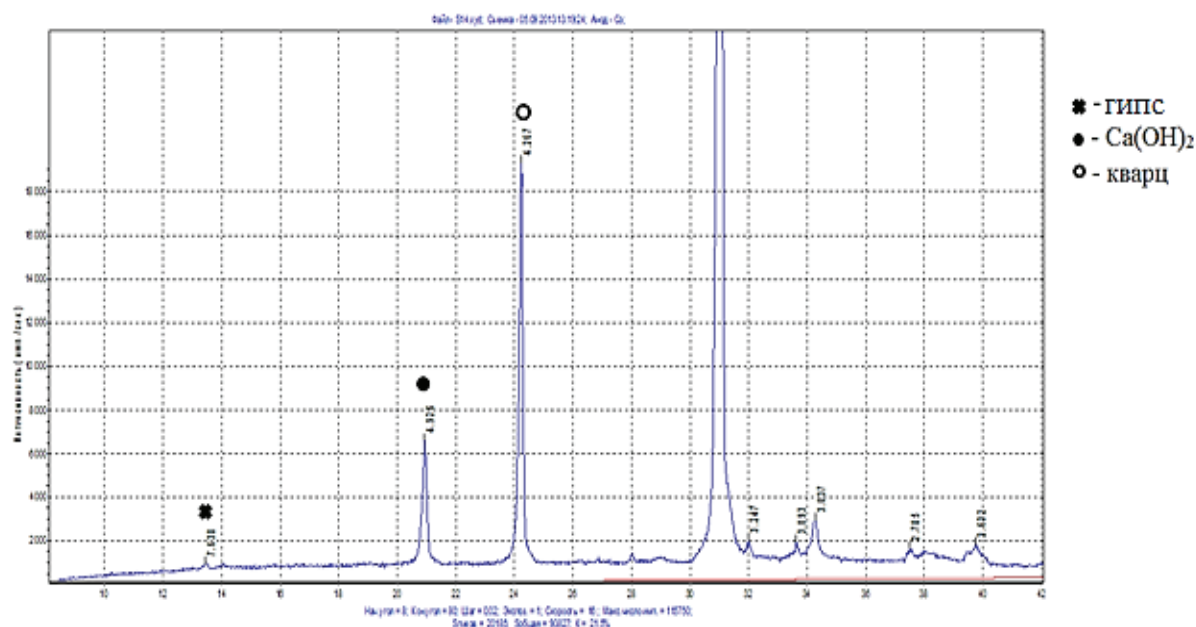


Рисунок 4 – Рентгенограмма корродированных слоев бетона на кварцевом песке после 12 мес хранения в 1%-ном растворе H_2SO_4

Figure 4 – Radiograph of corroded concrete layers with quartz sand after 12 months storage in 1% solution of H_2SO_4

В результате плотного срастания уррита с цементной матрицей бетона на его поверхности и в зоне контакта продукты коррозии отсутствуют (рисунок 3, б), при этом контактная зона кварцевого песка и его поверхность обрастает продуктами коррозии (рисунок 3, а), представленными в основном гипсом (пики 7,56; 4,27; 3,059 Å) (рисунок 4).

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии химически активного заполнителя на стойкость бетона за счет снижения проводимости контактной зоны для агрессивных агентов внешней среды благодаря срастанию поверхности заполнителя с цементным камнем.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большое влияние на коррозионную стойкость строительных материалов гидратационного твердения оказывает основность цемента и продуктов его гидратации. Стойкие виды вяжущих в данной агрессивной среде необходимо выбирать с позиции концепции кольматации [20,21,22,23], суть которой заключается в том, что малорастворимые продукты коррозии, образующиеся при взаимодействии агрессивных компонентов с цементной матрицей бетона, осаждаются в порах бетона,

тем самым закупоривают их (кольматируют), что замедляет диффузию агрессивных агентов вглубь изделия. Поэтому более стойким будет вяжущее, которое образует в данной агрессивной среде максимальное количество кольматанта с наибольшим диффузионным сопротивлением. Это позволяет повысить самоторможение процессов коррозии и коррозионную стойкость изделий в агрессивных средах.

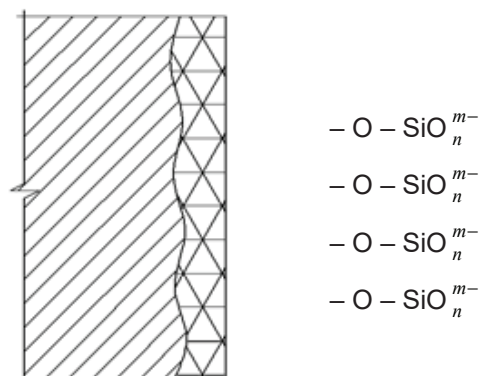


Рисунок 5 – Схема образования слоя кремнекислоты

Figure 5 – Scheme of silica layer formation

При кислотной коррозии процесс взаимодействия кислоты с компонентами цементной матрицы бетона сопровождается не только

кольматацией пор последнего малорастворимыми продуктами коррозии, но и образованием на поверхности уртитового заполнителя вязкого гелеобразного слоя кремнекислоты, образующегося при контакте нефелина с кислотой. Этот фактор усиливает самоторможение кислотной коррозии бетонов на цементной основе. Кремнекислота H_nSiO_m представляет собой кислотостойкое вещество, растворимое только в плавиковой кислоте. Гелеобразный слой кремневой кислоты и ее ионов на поверхности изделия, взаимодействуя с ионами водорода, точнее ионами H_3O^+ , захватывает их и удерживает на своей поверхности: $H_3O^+ + H_3SiO_4^- \rightarrow H_4SiO_4 + H_2O$ (рисунок 5). Реакция характеризуется высокой термодинамической вероятностью, обусловленной очень низким коэффициентом диссоциации ортокремневой кислоты, близким к $K_{дисс} = 10^{-10}$ [22,23].

В результате этого процесса внутренние слои, частично корродированного бетона, контактируют не со свободными ионами гидроксония, а со слабой ортокремневой кислотой, которая имеет родственный с ним химический состав и неагрессивна по отношению к нему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что уртитовый заполнитель повышает коррозионную стойкость мелкозернистого бетона в сернокислых средах по сравнению с бетоном на традиционном кварцевом песке. Это обусловлено тем, что происходит снижение проводимости контактной поверхности между цементной матрицей и заполнителем благодаря химическому сродству порообразующего минерала нефелина к гидроксиду кальция. При этом самоторможение кислотной коррозии усиливается благодаря образованию на поверхности нефелинсодержащего заполнителя гелеобразного слоя кремнекислоты, что вызывает протекание элетроповерхностных процессов с захватом анионами кремнекислоты агрессивных ионов гидроксония. Нефелинсодержащие заполнители целесообразно использовать также для бетонов, применяемых в условиях солевой и биологической агрессии высокой интенсивности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, Е. А. Гузеев. Под общей редакцией В. М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
2. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона // Пер. с нем. А.Тулганова, под ред. П.Кривенко. Киев: Оранта, 2004. 301 с.

3. Мюллауэр В., Бедду Р.Е., Хайнц Д. Механизмы воздействия сульфатов на бетон: факторы химической и физической устойчивости // Цемент и его применение, 2013. № 9. С. 34–43.

4. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu. Cement and Concrete Composites, 2006, 36. no 12. pp. 2132–2137.

5. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.

6. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // Вестник БГТУ. 2017. №11. С. 43–47.

7. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей: монография / Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.

8. Толыпина Н.М. К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 6. Ч. 1. С. 81–85.

9. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Полякова А.М., Фурсов С.Г. Вскрышные нефелинсодержащие породы и их применение // Автомобильные дороги. 1990. № 5. С. 16–17.

10. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Цветкова Т.В. Влияние минерального состава уртитового заполнителя и условий твердения бетона на формирование контактной зоны // Комплексное использование минерального сырья в строительных и технических материалах. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. С. 22–25.

11. Рахимбаев И.Ш., Толыпина Н.М. Термодинамический расчет активности в щелочной среде минералов, входящих в состав заполнителей бетонов // Вестник Центрального Регионального отделения: материалы Академических науч. чтений «Науч. и инженер. пробл. строит.-технол. утилизации техногенных отходов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. Вып.13. С. 174–178.

12. Яковлев В.В. Кинетика коррозии портландцементного бетона в растворах кислот // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 32–34.

13. Bertron A., Escadeillas G. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical

characterization. *Cement and Concrete Composites*, 2004, no.10. т. 34. pp. 1823–1835.

14. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Кислотостойкий бетон с эффективным активным заполнителем // *Бетон и железобетон*. 2011. № 4. С. 24–26.

15. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions exposure to extreme intensity. *Cement and Concrete Composites*, 2005, no. 1. pp. 65–76.

16. Xiao Jie, Qu Wenjun, Li Wengue, Zhu Peng. Investigation on effect of aggregate on three non-destructive testing properties of concrete subject to sulfuric acid attack. *Concr. and Build. Mater.* 2016, no 115. pp. 486–495.

17. Kolio Ario, Honkanen Mari, Lahdensivu Jakka, Vippola Minnamari et al. Corrosion products of carbonation induced corrosion in existing reinforced concrete facades. *Cem. and Concr. Res.* 2015, no 78. pp. 200–207.

18. Peng Jian, Zhang Censheng, Peng Tongf, Zi Yanke et al. Experimental study on mechanical properties of concrete corroded by ammonium sulfate. *Univ.Scr. and Technol.* 2015, 36. no 5. pp.34–40.

19. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 23–24.

20. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов колюматации при химической коррозии цементных систем // *Бетон и железобетон*. 2012. № 6. С. 16–17.

21. Карпачева Е.Н., Рахимбаев Ш. М., Толыпина Н.М. Коррозия мелкозернистых бетонов в агрессивных средах сложного состава: монография // Germany: Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 90 с.

22. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мчедлов-Петросян. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.

23. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов; под ред О.П. Мчедлов-Петросяна, 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 406 с.

REFERENCES

1. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Guzev E.A. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity* [Corrosion of the concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow, Stroyizdat, 1980. 536 p.

2. Stark I., Wicht B. *Dolgovechnost' betona* [Concrete durability]. Trans. with it. A. Dolganova, ed. by P. Krivenko. Kiev, Orans, 2004. 301 p.

3. Mullauer V., Beddoe R.E., Heinz, D. *Mehanizmy vozdeystviya sul'fatov na beton: faktory himicheskoy i fizicheskoy ustojchivosti* [Mechanisms of the effects of sulfates on the concrete: factors of chemical and physical stability]. *Cement and its applications*, 2013, no. 9, pp. 34–43.

4. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu. *Cement and Concrete Composites*, 2006, 36, no 12, pp. 2132–2137.

5. Alexeev S.N., Rosenthal N.K. *Korroziy naja stojkost' konstrukcij v agressivnoj promyshlennoj srede* [Corrosion resistance of structures in aggressive industrial environment]. Moscow, Stroyizdat, 1976. 205 p.

6. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Talapin D.A. *Sravnitel'naja stojkost' betonov s zapolnitelem razlichnyh razmerov i bez nego* [Comparative resistance of the concrete with various aggregate sizes and without it]. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov*, 2017, no. 11, pp. 43–47.

7. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. *Povyshenie korrozionnoj stojkosti betonov putem racional'nogo vybora vjashushhego i zapolnitelej* [Increased corrosion resistance of the concrete by rational selection of binder and fillers]. Monograph. Belgorod: BSTU im. V.G. Shukhov, 2015. 321 p.

8. Tolypina N.M. *K voprosu o vzaimodejstvii cementnoj matricy s zapolniteljami* [To the question of the cement matrix with aggregates' interaction]. *Modern high technologies*, 2016, no. 6. Part 1. pp. 81–85.

9. Krashenninnikov O.N., Belogurova T.P., Polyakova A.M, Fursov S.G. *Vskryshnye nefelinsoderzhashhie porody i ih primenenie* [Overburden non-gelinite-containing rocks and their application]. *Highways*, 1990, no. 5, pp. 16–17.

10. Krashenninnikov O.N., Belogurova T.P., Tsvetkova T.V. *Vliyanie mineral'nogo sostava urtivotogo zapolnitelja i uslovij tverdenija betona na formirovanie kontaktnoj zony* [Influence of mineral composition of urtite aggregate and conditions of concrete hardening on formation of the contact zone]. *Complex use of mineral raw materials in building and technical materials*. Apatity: Kola science center as USSR, 1989, pp. 22–25.

11. Rakhimbaev I.S., Tolypina N.M. *Termodinamicheskij raschet aktivnosti v shhelochnoj srede mineralov, vhodjashhih v sostav zapolnitelej betonov* [Thermodynamic calculation of the activity in the alkaline environment of the minerals composing the aggregates concretes]. *Vestnik of the Central Regional offices: Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhov*, 2014, Vol.13, pp. 174–178.

12. Yakovlev V.V. Kinetika korrozii portland-cementnogo betona v rastvorah kislot [Corrosion kinetics of portland cement concrete in acid solutions]. *Building materials*, 2003, no. 10, pp. 32–34.

13. Bertron A., Escadeillas G. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization. *Cement and Concrete Composites*, 2004, no.10. т. 34, pp. 1823–1835.

14. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Kislotos-tojkij beton s jeffektivnym aktivnym zapolnitelem [Acid-resistant concrete with effective active filler]. *Concrete and reinforced concrete*, 2011, no. 4, pp. 24–26.

15. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions exposure to extreme intensity. *Cement and Concrete Composites*, 2005, no. 1, pp. 65–76.

16. Xiao Jie, Qu Wenjun, Li Wengue, Zhu Peng. Investigation on effect of aggregate on three non-destructive testing properties of concrete subject to sulfuric acid attack. *Concr. and Build. Mater.* 2016, no. 115. pp. 486–495.

17. Kolio Ario, Honkanen Mari, Lahdensivu Jakka, Vippola Minnamari et al. Corrosion products of carbonation induced corrosion in existing reinforced concrete facades. *Cem. and Concr. Res.* 2015, no. 78. pp. 200–207.

18. Peng Jian, Zhange Censheng, Peng Tongf, Zi Yanke et al. Experimental study on mechanical properties of concrete corroded by ammonium sulfate. *Univ. Scr. and Technol.* 2015, 36. no 5. pp.34–40.

19. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Metody ocenki korrozionnoj stojkosti cementnyh kompozitov [Evaluation methods of the cement composites' corrosion resistance]. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov*, 2012, no. 3, pp. 23–24.

20. Rakhimbaev S.M. Kinetika processov kol'matacii pri himicheskoj korrozii cementnyh sistem [Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems]. *Concrete and reinforced concrete*, 2012, no. 6, pp. 16–17.

21. Karpacheva E.N., Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Korrozija melkozernistykh betonov v agressivnyh sredah slozhnogo sostava [Corrosion of fine-grained concrete in aggressive media of complex composition]. Monograph. Germany: Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing GmbH & co.KG, 2012. 90 p.

22. Mchedlov-Petrosyan O.P. Himija neorganicheskikh stroitel'nykh materialov [Inorganic building materials' chemistry]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 304 p.

23. Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. Termodinamika silikatov [Thermodynamics of silicates]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 406 p.

Поступила 02.04.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Толыпина Наталья Максимовна – доктор технических наук, доцент, проф. 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).

Щигорева Евгения Максимовна – магистрант 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).

Головин Максим Васильевич – магистрант 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).

Щигорев Дмитрий Сергеевич – аспирант 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).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tolypina Natalia M. – doctor of technical science, professor of the 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)

Shigareva Evgeniya M. – Undergraduate of the 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).

Golovin Maksim V. – Undergraduate of the 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).

Shigarev Dmitri S. – Research assistant of the 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).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Толыпина Н.М. Постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, общее руководство.

Щигорева Е.М. Проведение экспериментальной части исследования, анализ результатов исследования.

Головин М.В. Проведение экспериментальной части исследования, анализ результатов исследования.

Щигорев Д.С. Обработка результатов исследования, оформление статьи.

AUTHOR CONTRIBUTION

Tolypina N.M. The statement of the research problem, the analysis of the results, overall research management.

Shigareva E.M. The experimental part of the research, the analysis of the research results.

Golovin M.V. Conducting the experimental part of the research, analysis of the results.

Shigarev D.S. Processing of research results, preparation of the manuscript.

УДК 624.012

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ТРЕЩИНОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

А. Чхум

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)», г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Оценка степени влияния заранее организованных трещин в растянутой зоне железобетонных балок на их трещиностойкость, деформативность под действием длительных нагрузок.

Материалы и методы. Бетон для образцов готовили как в лабораторных, так и в заводских условиях на портландцементе марки 500 при В/Ц = 0,71; состав бетона 1:1,9:4 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки – 13,85 МПа; прочность призм размерами 10*10*40 см – 11,48 МПа; расчетный пролет 78 см; арматура периодического профиля класса А400 диаметром 10 мм. Организованные трещины образованы установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.

Результаты. Эксперименты подтвердили выдвинутые гипотезы о жесткости балок с заранее организованными трещинами по сравнению с балками сплошного сечения под действием длительных нагрузок. Балки с заранее организованными трещинами обеспечивают меньшее приращение прогибов с течением длительного периода времени, чем балки без организованных трещин. Предложенный метод для расчета прогибов железобетонных балок с заранее организованными трещинами под действием длительных нагрузок снижает прогибы примерно на 33%.

Обсуждение и заключение. Установлено, что наличие заранее организованных трещин уменьшает прогибы балок по сравнению с образцами сплошного сечения, фактически являясь регулятором напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций, и ведет к плавному деформированию последних на всех этапах загрузки при воздействии длительных нагрузок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трещинообразование, жесткость, деформативность, прогибы, изгибаемые элементы, энергетическая теория, заранее организованные трещины, длительные нагрузки, железобетонная балка, ползучесть.

© А. Чхум



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DEFLECTED MODE OF THE REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH ORGANIZED CRACKS UNDER LONG-TERM LOADING

A.Ckhum

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Evaluation of the influence level of the pre-organized cracks in tensile zone of the reinforced concrete beams on their crack resistance, deformability under long-term loading is investigated in the article.

Materials and methods. Concrete for specimen was produced in laboratory and factory on portland cement of the 500-grade at $W/C=0,71$; concrete composition 1:1,9:4 (by weight); strength of cube at 28th days – 13,85 MPa; strength of prism with dimensions 10/10*40 cm – 11,48 MPa; span calculation – 78 cm; steel rebar grade – A400 with diameter of 10 mm. Organized crack was formed by installing plate with thickness of 0,5 mm and height of 30 mm on the rebar in the zone of maximum moments.

Results. The experiments confirmed the hypothesis about the beams rigidity with pre-organized cracks in comparison with stochastic cracks under the influence of long-term loading. As a result, the beams with pre-organized cracks provide the smaller deflection after long-term period than the beams without organized cracks. Thus, the proposed method of the deflections calculation of the reinforced concrete beams with pre-organized cracks under the long-term loading helps to reduce deflection to 33%.

Discussion and conclusion. The findings of this study suggest that the presence of pre-organized cracks reduces the beams deflections in comparison with the specimens of section, and such method actually regulates the stress-strain state of reinforced concrete structures and leads to the smooth deformation at all stages under the influence of long-term loading.

KEYWORDS: cracking, stiffness, deformation, deflection, bending element, energy theory, pre-organized cracks, long-term loading, reinforced concrete beam, creep.

© A.Ckhum



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При деформировании железобетонной балки происходит образование трещин в растянутой зоне. Появление трещины можно представить как мгновенный разрыв бетона, который приводит к возникновению упругих волн в бетоне и колебательному движению балки [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Динамические процессы, инициированные появлением трещин в бетоне, оказывают влияние на развитие существующих трещин и приводят к появлению новых трещин. Железобетонные конструкции подвержены трещинообразованию не только при действии кратковременных нагрузок, но и при действии длительных статических нагрузок. В статически нагруженной конструкции динамические эффекты проявляются в меньшей степени, однако они также оказывают существенное влияние на процесс трещинообразования. При действии длительных статических нагрузок в железобетонных конструкциях наблюдаются эффекты ползучести, которые тесно связаны с процессом трещинообразования. С одной стороны, образование трещин приводит к перераспределению напряжений в конструкции, что в свою очередь оказывает влияние на развитие необратимых деформаций ползучести. С другой стороны, развитие

деформаций ползучести может вызывать образование трещин [11,12,13,14,15,16,17,18].

На основе энергетической теории [19,20,21] были выдвинуты следующие гипотезы: 1) интенсивность процесса трещинообразования уменьшается при снижении уровня кинетической энергии, что в случае балок достигается введением в растянутую зону заранее организованных трещин; 2) введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накоплению необратимых деформаций ползучести.

В соответствии с гипотезой проф. В.М. Митасова [22,23,24], при образовании трещины часть энергии растянутого бетона в ее окрестности рассеивается, а обратимая часть воспринимается арматурой и нетреснувшей (работоспособной) частью сечения. Был проведен физический эксперимент на железобетонных балках с заранее организованными трещинами, который показал, что гипотеза о переходе обратимой энергии растянутого бетона на арматуру подтвердилась.

На рисунке 1 показана условная схема образования и стабилизации трещины.

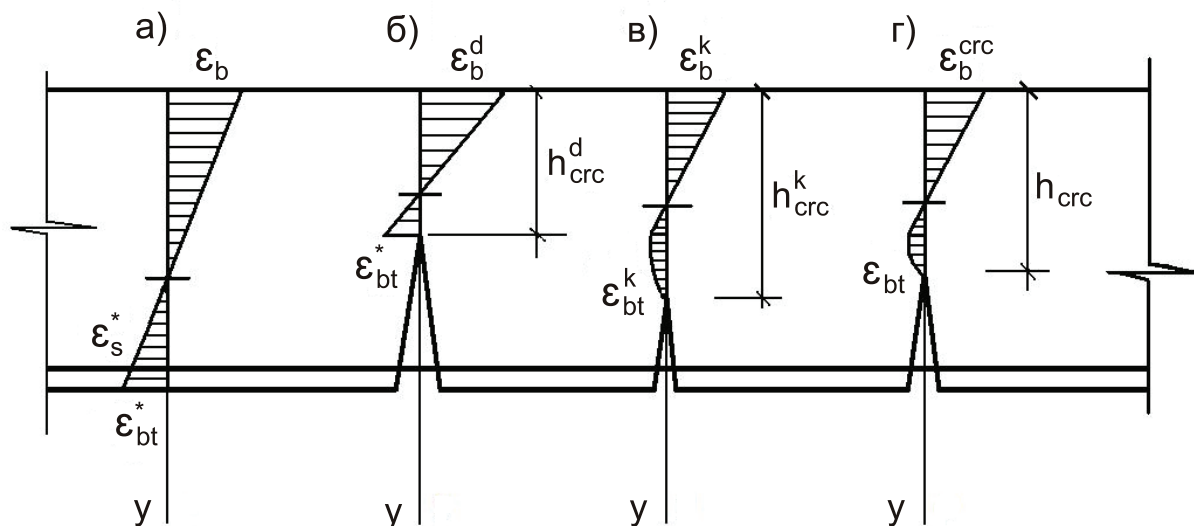


Рисунок 1 – Схема деформирования сечения в процессе стабилизации трещины:
а – деформации до образования трещин; б – этап I динамического развития с наибольшей высотой трещины;
в – k-ый этап колебаний системы с минимальной высотой сечения;
г – стабилизированное состояние сечения

Figure 1 – Scheme of section deformation by the stability cracks' process:
a – deformation till cracks' occurring; б – Ist dynamic developing stage with the maximum cracks' height; в – n-stage of sway system with minimal height section; г – stabilized section condition

В рамках энергетической теории сопротивления железобетона (диаграммно-энергетический подход) удалось решить задачу перехода из состояния до образования трещины к состоянию с трещиной. При этом отмечен динамический характер ее (трещины) образования.

Данная статья является продолжением опубликованной ранее [25].

Настоящая работа является исследованием особенностей деформирования железобетонных балок с заранее организованными трещинами и без организованных трещин при действии длительных нагрузок с различными уровнями нагружения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Бетон для образцов готовили как в лабораторных, так и в заводских условиях на портландцементе марки 500 при В/Ц = 0,71; состав бетона 1:1,9:4 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки – 13,85 МПа; прочность призм размерами 10*10*40 см – 11,48 МПа; расчетный пролет 78 см; арматура периодического профиля класса А400 диаметром 10 мм.

Организованные трещины образованы

установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.

В возрасте 28 сут балки, предназначенные для исследования влияния длительной нагрузки, устанавливали в устройства, создающие постоянную во времени нагрузку в виде одних сосредоточенных сил. Средние деформации сжатого бетона и растянутой арматуры измеряли в зоне поперечного изгиба на базе 260 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001; прогибы – измеряли прогибомерами Аистова с ценой деления 0,01 мм, установленными в плоскости среднего поперечного сечения балок. Армирование одиночное и защитный слой – 20 мм (рисунок 2) [25].

С помощью рычажной системы железобетонные балки испытывались длительной нагрузкой как однопролетные шарнирно опертые балки, нагруженные одной сосредоточенной силой. В испытании использовались гири массой 20 кг. На рисунках 3, 4 представлена установка для испытания железобетонных балок при воздействии длительных нагрузок.

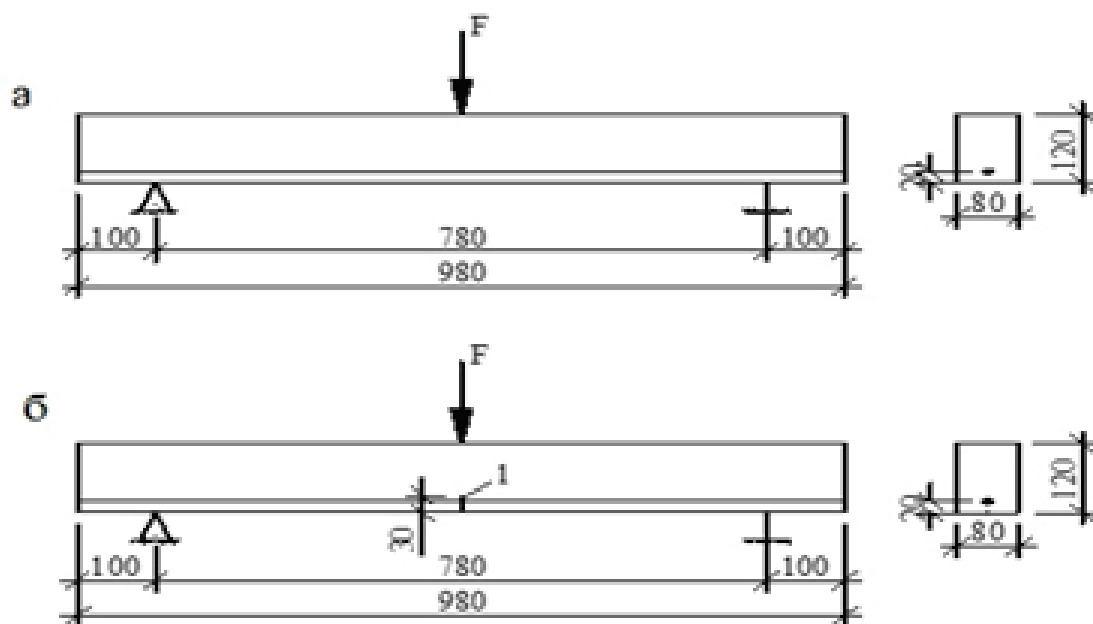


Рисунок 2 – Схема железобетонной балки: а – без организованных трещин; б – с организованными трещинами; 1 – организованная трещина

Figure 2 – Scheme of the reinforced concrete beam: a – without organized cracks; b – with organized cracks; 1 – organized crack

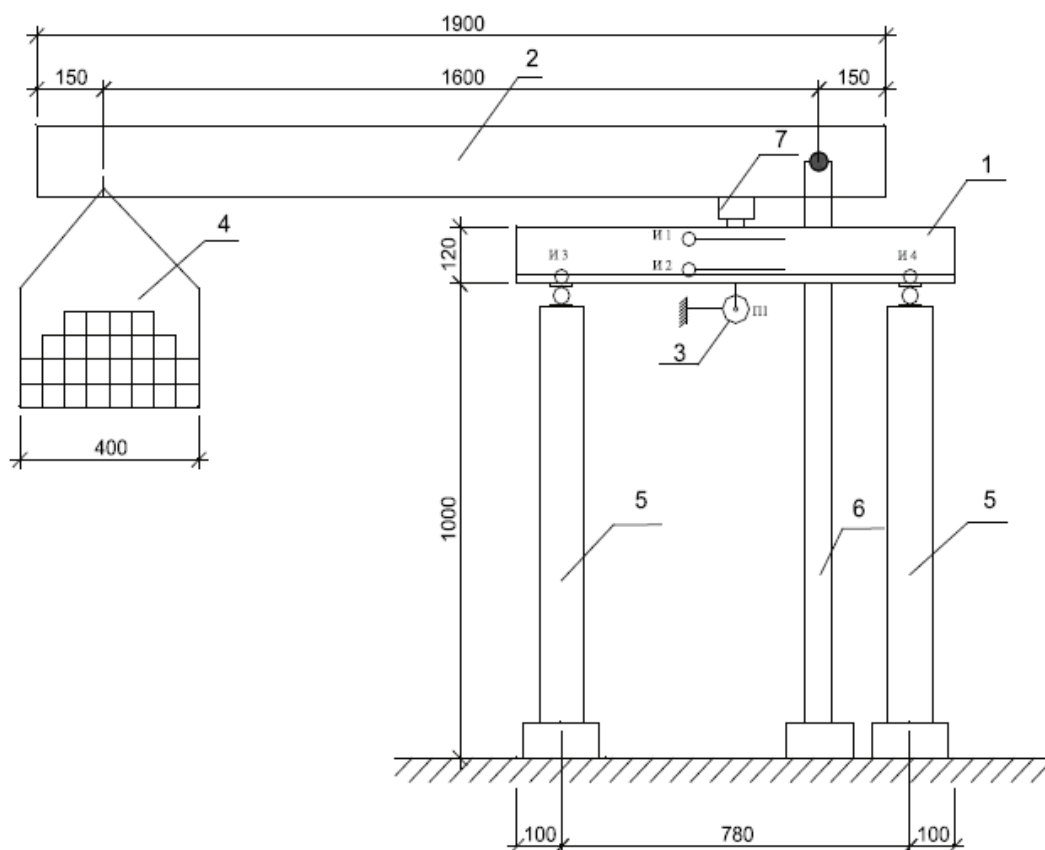


Рисунок 3 – Установка для испытания балок при длительных нагрузках [25]:
1 – опытная балка; 2 – рычаг (швеллер); 3 – прогибомер; 4 – металлические грузы;
5 – стойки из металлических труб; 6 – стойки из швеллера; 7 – динамометр

Figure 3 – Installation for beams under long-term loading testing [25]:
1 – experimental beam; 2 – channel; 3 – deflection meter; 4 – metal load; 5 – metal tube frames;
6 – channel frame; 7 – dynamometer



Рисунок 4 – Испытание железобетонных балок при воздействии длительных нагрузок

Figure 4 – Testing of the reinforced concrete beams under the long-term loading

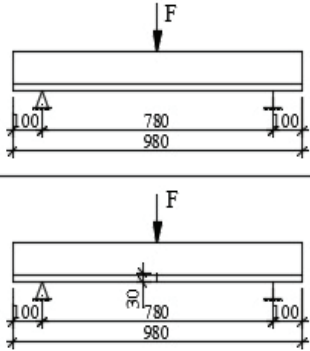
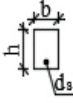
В таблице 1 показана схема испытания балок без организованных трещин и с организованными трещинами, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обработки экспериментальных данных построены графики прогибов для

балок без организованных трещин и с заранее организованной трещиной, испытанных на действие одной сосредоточенной силы под действием длительных нагрузок (рисунок 5). А также составлены таблицы изменения прогиба и высоты трещины во времени. Высота трещины измерялась с помощью микроскопа МПБ2.

ТАБЛИЦА 1
Схема испытания балок
TABLE 1
Scheme of beams' testing

Серия балок	Схема балок	Сечение в пролете	Материалы			С различным и уровнями нагружения	Размеры поперечного сечения, мм	
			Арматура		Бетон		h ₀	b
			ds/μ, %	As, см ²	R _b , МПа			
1			10/10 0,98	0,785	13,85	0,70-0,90	100	80

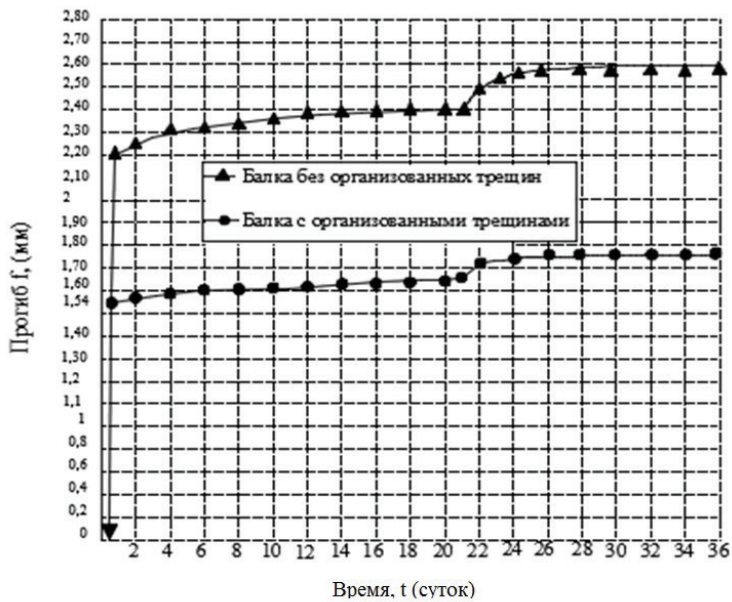


Рисунок 5 – Зависимости прогиба балок без организованных трещин и с организованными трещинами от времени, полученные экспериментально

Figure 5 – Dependence of the beams time deflection without organized cracks and with organized cracks, received by testing

ТАБЛИЦА 2

Значение прогибов в балках с организованной трещиной, испытанных при воздействии длительных нагрузжений
TABLE 2
Value of beams deflection with organized cracks, tested under the long-term loading

№ образца	Время t, суток	Прогиб, мм	Количество трещин, шт	Высота трещины над пластиной, см	Усилие F=0,85-0,95 F _{раз} , кгс
Образец 1 (балка с организов- ванной трещиной)	1	1,54	9	75	0,85 F _{разрушения}
	2	1,58	10	90	
	3	1,58	10	90	
	4	1,58	10	90	
	5	1,63	10	90	
	6	1,64	10	90	
	7	1,66	10	90	
	8	1,66	10	90	
	9	1,66	10	90	
	10	1,66	10	90	
	11	1,66	10	90	
	12	1,66	10	90	
	13	1,66	10	90	
	14	1,66	10	90	
	15	1,66	10	90	
	16	1,66	10	90	
	17	1,66	10	90	
	18	1,66	10	90	
	19	1,66	10	90	
	20	1,66	10	90	
	21	1,66	10	90	
	22	1,73	10	90	0,95 F _{разрушения}
	23	1,76	10	90	
	24	1,76	10	90	
	25	1,76	10	90	
	26	1,76	10	90	
	27	1,76	10	90	
Образец 1 (балка с организов- ванной трещиной)	28	1,76	10	90	0,9F _{разрушение}
	29	1,76	10	90	
	30	1,76	10	90	
	31	1,76	10	90	
	32	1,76	10	90	
	33	1,76	10	90	
	34	1,76	10	90	
	35	1,76	10	90	
	36	1,76	10	90	

ТАБЛИЦА 3
Значение прогибов в балках без организованных трещин, испытанных при воздействии длительных нагрузжений
TABLE 3
Value of beams deflection without organized cracks, tested under the long-term loading

№ образца	Время t, суток	Прогиб, мм	Количество трещин, шт	Высота трещины над пластиной, см	Усилие F=0,85-0,95 Fраз,кгс
Образец 2 (балка без организованных трещин)	1	2,23	11	80	0,85 F _{разрушения}
	2	2,28	12	95	
	3	2,36	12	95	
	4	2,38	12	95	
	5	2,40	12	95	
	6	2,40	12	95	
	7	2,40	12	95	
	8	2,41	12	95	
	9	2,42	12	95	
	10	2,42	12	95	
	11	2,42	12	95	
	12	2,42	12	95	
	13	2,42	12	95	
	14	2,42	12	95	
	15	2,42	12	95	
	16	2,42	12	95	
	17	2,42	12	95	
	18	2,42	12	95	
	19	2,42	12	95	
Образец 2 (балка без организованных трещин)	20	2,42	12	95	0,95 F _{разрушения}
	21	2,42	12	95	
	22	2,57	12	95	
	23	2,58	12	95	
	24	2,59	12	95	
	25	2,59	12	95	
	26	2,59	12	95	
	27	2,59	12	95	
	28	2,59	12	95	
	29	2,60	12	95	
	30	2,60	12	95	
	31	2,60	12	95	
	32	2,60	12	95	
	33	2,61	12	95	
	34	2,61	12	95	
	35	2,61	12	95	
	36	2,61	12	95	

На графике 5 изображены зависимости прогиба балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами от времени, полученные экспериментально.

Во время испытаний производили непрерывное наблюдение за поведением исследуемых образцов (появление трещин, выколов).

Для балок, испытанных при воздействии длительных нагрузок, было установлено:

1. В балках без организованных трещин образовалось 12 трещин. Максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при $0,85 F_{\text{разрушения}}$ составил 2,42 мм и при $0,95 F_{\text{разрушения}}$ – 2,61 мм. Максимальная высота трещины составила 95 мм. При добавлении нагрузки до $0,95 F_{\text{разрушения}}$ количество, рост и ширина раскрытия трещин не изменились.

2. В балках с заранее организованной трещиной образовалось 10 трещин. Максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при $0,85 F_{\text{разрушения}}$ составляет 1,66 мм и при $0,95 F_{\text{разрушения}}$ составляет 1,76 мм. Максимальная высота трещины составила 90 мм. Разрушение произошло в сечении под приложенной силой. Скорость развития деформаций уменьшалась во времени.

Таким образом, балки с заранее организованными трещинами обеспечивают меньшее приращение прогибов в течение длительного времени, чем балки без организованных трещин.

В начальный момент времени прогибы нарастают с большой скоростью, а с течением времени скорость роста прогиба уменьшается. Это обусловлено развитием во времени деформаций ползучести, образованием стохастических трещин и сопутствующим перераспределением напряжений. График зависимости для балки с организованной трещиной является более пологим по сравнению с зависимостью для балки без организованной трещины, что обусловлено меньшей интенсивностью процессов развития деформаций ползучести и трещинообразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подтверждена гипотеза о том, что введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накоплению необратимых деформаций ползучести.

Эффекты от введения организованных трещин в растянутую зону балки показали, что железобетонные балки с заранее организованными трещинами под воздействием дли-

тельных статических нагрузок имеют меньшие прогибы по сравнению с балками без организованных трещин.

Экспериментальные исследования показали, что с помощью заранее организованной трещины в процессе производства появляются возможности для регулирования напряженно-деформированного состояния и процесса трещинообразования в железобетонных изгибаемых элементах, что ведет к плавному деформированию последних на всех этапах загрузки при воздействии длительных нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 36 (2016), pp. 191-200.
2. Kätthler et al. Effect of cracks on chloride-induced corrosion of steel in concrete. Norwegian Public Roads Administration, NPRA reports, Norwegian Public Roads Administration, 5(2017), pp. 1-41.
3. Barris C, Torres LI, Baena M, Pilakoutas K, Guadagnini M. Serviceability limit state of frp rc beams. *advances in structural engineering*, 15(2012), pp.653-63.
4. Yang K.H., Singh J., Lee B.Y., Kwon S.J. Simple technique for tracking chloride penetration in concrete based on the crack shape and width under steady-state conditions. *Sustainability*, 9(2017), pp.1-282.
5. Wang H.L., Dai J.G., Sun X.Y., Zhang X.L. Characteristics of concrete cracks and their influence on chloride penetration. *Constr. Build. Mater.* 107(2016), pp. 216–225.
6. Ji Y. Hu Y., Zhang L. Laboratory studies on influence of transverse cracking on chloride-induced corrosion rate in concrete. *Cem. Concr. Compos.* 69(2016), pp. 28–37.
7. Oh H. K., Park S. M., Hong S. I. Hot deformation and cracking during compression of 21-4N steel. *Advanced Materials Research*, 1102 (2015), pp. 12-21.
8. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели. *Известия КГАСУ*, 2013, №4 (26). – С.113 – 120.
9. Annette B. R., Jakob F., Lars G. H. Cracking in flexural reinforced concrete members. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.102. *Procedia Engineering* 172 (2017), pp. 922 – 929.
10. J. Fisker, L. G. Hagsten, Mechanical model for the shear capacity of R/C beams without

stirrups: A proposal based on limit analysis. *Engineering Structures* 115 (2016), pp.220-231.

11. Mao, L.; Barnett, S.J. Investigation of toughness of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC) beam under impact loading. *Int. J. Impact Eng.* 99 (2017), pp. 26–38.

12. Jana D, Katarína T. Deflection of a beam considering the creep. *Structural and Physical Aspects of Construction Engineering.* 190(2017), pp. 459 – 463.

13. Yousefieh N., Joshaghani A., Hajibandeh E., Shekarchi M. Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. *Constr. Build. Mater.* 148(2017), pp. 833–845.

14. Barris C, Torres LI, Turon A, Baena M, Catalan A. An experimental study of the flexural behaviour of glass fiber reinforced polymer reinforced concrete beams and comparison with prediction models. *composite structures* 91(2009), pp.286-295.

15. Kara IF, Ashour AF. Flexural performance of fiber reinforced polymer reinforced concrete beams. *Composite structures* 94(2012), pp.1616-1625.

16. Miàs C, Torres L, Turon A, Baena M, Barris C. A simplified method to obtain time dependent curvatures and deflections of concrete members reinforced with fiber reinforced polymer bars. *Composite structures* 92 (2010), pp.1833-38.

17. Goel M. D., Deformation, energy absorption and crushing behavior of single, double and multi-wall foam filled square and circular tubes. *Thin-Walled Structures*, 90(2015), pp. 1-11.

18. Naseri F., Jafari F., Mohseni E., Tang W., Feizbakhsh A., Khatibinia M. Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating nano-CuO. *Constr. Build. Mater.* 143 (2017), pp. 589–598.

19. Митасов В.М. Определение напряжений арматуры железобетонного элемента в сечении с трещиной. *Известия вузов.* 1988. № 3. С. 116 – 118.

20. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона. *Известия вузов.* 2010. № 5. С.3 – 9.

21. Митасов. В.М., Адищев В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетон. *Известия вузов.* 2010. № 6. С. 3 – 8.

22. Михайлова Н.С., Митасов В.М. Напряженно-деформированное состояние железобетонной балки с трещиной. *Материалы Международных академических чтений. Курск :* 2007. С. 104 – 108.

23. Михайлова Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без тре-

щин и заранее намеченной трещины. *Известия вузов.* 2007. № 4. С. 110 – 113.

24. Митасов В.М., Логунова М.А., Стаценко Н.В. Новые подходы к решению задач деформирования железобетонных конструкции с трещинами. *Известие вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость* Том 7, №1, 2017. С.77 – 84.

25. Митасов В.М., Чхум А. Деформирование железобетонных балок с формообразующими элементами при длительных нагрузках. *Современные наукоемкие технологии.* 2018. № 3. С. 79-84.

REFERENCES

1. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 36 (2016), pp. 191-200.

2. Käthler et al. Effect of cracks on chloride-induced corrosion of steel in concrete. *Norwegian Public Roads Administration, NPRA reports, Norwegian Public Roads Administration*, 5(2017), pp. 1-41.

3. Barris C, Torres LL, Baena M, Pilakoutas K, Guadagnini M. Serviceability limit state of frp rc beams. *advances in structural engineering*, 15 (2012), pp.653-63.

4. Yang K.H., Singh J., Lee B.Y., Kwon S.J. Simple technique for tracking chloride penetration in concrete based on the crack shape and width under steady-state conditions. *Sustainability*, 9 (2017), pp.1-282.

5. Wang H.L., Dai J.G., Sun X.Y., Zhang X.L. Characteristics of concrete cracks and their influence on chloride penetration. *Constr. Build. Mater.* 107(2016), pp. 216–225.

6. Ji Y. Hu Y., Zhang L. Laboratory studies on influence of transverse cracking on chloride-induced corrosion rate in concrete. *Cem. Concr. Compos.* 69 (2016), pp. 28–37.

7. Oh H. K., Park S. M., Hong S. I. Hot deformation and cracking during compression of 21-4N steel. *Advanced Materials Research*, 1102 (2015), pp. 12-21.

8. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. K raschetu prochnosti, zheskosti i treshchinos-toykosti vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov s primeneniym nelineynoy deformatsionnoy modeli. [To the calculation of strength, hardness and fracture toughness of eccentrically compressed concrete elements by using nonlinear deformation models], *Izvestiya KGASU*, 2013, no 4 (26). – pp. 113 – 120.

9. Annette B. R., Jakob F., Lars G. H. Crack-ing in flexural reinforced concrete members. doi:

10.1016/j.proeng.2017.02.102. Procedia Engineering 172 (2017), pp. 922 – 929.

10. J. Fisker, L. G. Hagsten, Mechanical model for the shear capacity of R/C beams without stirrups: A proposal based on limit analysis. Engineering Structures 115 (2016), pp.220-231.

11. Mao, L.; Barnett, S.J. Investigation of toughness of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC) beam under impact loading. Int. J. Impact Eng. 99 (2017), pp. 26–38.

12. Jana D, Katarína T. Deflection of a beam considering the creep. Structural and Physical Aspects of Construction Engineering. 190 (2017), pp. 459 – 463.

13. Yousefieh N., Joshaghani A., Hajibandeh E., Shekarchi M. Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. Constr. Build. Mater. 148 (2017), pp. 833–845.

14. Barris C, Torres LL, Turon A, Baena M, Catalan A. An experimental study of the flexural behaviour of glass fiber reinforced polymer reinforced concrete beams and comparison with prediction models. composite structures 91(2009), pp.286-295.

15. Kara IF, Ashour AF. Flexural performance of fiber reinforced polymer reinforced concrete beams. Composite structures 94 (2012), pp.1616-1625.

16. Miàs C, Torres L, Turon A, Baena M, Barri C. A simplified method to obtain time dependent curvatures and deflections of concrete members reinforced with fiber reinforced polymer bars. Composite structures 92 (2010), pp.1833-38.

17. Goel M. D., Deformation, energy absorption and crushing behavior of single, double and multi-wall foam filled square and circular tubes. Thin-Walled Structures, 90 (2015), pp. 1-11.

18. Naseri F., Jafari F., Mohseni E., Tang W., Feizbakhsh A., Khatibinia M. Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating nano-CuO. Constr. Build. Mater. 143 (2017), pp. 589–598.

19. Mitasov V.M. Opredelenie naprjazhenij armatury zhelezobetonnoho jelementa v sechenie s treshhinoy [Determination of reinforcement stresses of the reinforced concrete element in the section with crack]. *Izvestija vuzov*, 1988, no 3, pp. 116 – 118. (in Russian)

20. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye predposylki postroenija jenergeticheskoy teorii soprotivlenija zhelezobetona [The basic preconditions for composing the energy theory of the reinforced concrete resistance]. *Izvestija vuzov*, 2010, no 5, pp. 3 – 9. (in Russian)

21. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye polozhenija jenergeticheskoy teorii soprotivlenija

zhelezobetona [Basic points of the energy theory of the reinforced concrete resistance]. *Izvestija vuzov*, 2010, no 6, pp. 3 – 8. (in Russian)

22. Mihajlova N.S., Mitasov V.M. Naprjazhenodeformirovannoe sostojanie zhelezobetonnoj balki s treshhinoy [Stress-strain state of the reinforced concrete beam with the crack]. *Materialy Mezhdunarodnyh akademicheskikh chtenij*, Kursk. 2007. pp.104 – 108. (in Russian)

23. Mihajlova N.S. Jeksperimental'nye issledovanija zhelezobetonnyh balok bez treshhin i zaranee namechennoj treshhiny [Experimental studies of reinforced concrete beams without cracks and with the predetermined crack]. *Izvestija vuzov*, 2007, no 4, pp. 110 – 113. (in Russian)

24. Mitasov V.M., Logunova M.A., Statsenko N.V. Novyye podkhody k resheniyu zadach deformirovaniya zhelezobetonnykh konstruksii s treshchinami [New approaches to solve the problems of deformation of reinforced concrete structures with cracks]. *Izvestiye vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo*, Nevdizhimost' Tom 7, no 1, 2017. pp.77– 84. (in Russian)

25. Mitasov V.M., Chkhum A. Deformirovaniye zhelezobetonnykh balok s formoobrazuyushchimi elementami pri dlitel'nykh nagruzkakh [Deformation of reinforced concrete beams with forming elements under long-term loading]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2018, no 3, pp. 79-84. (in Russian)

Поступила 03.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чхум Амнот – аспирант кафедры железобетонных конструкций, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, д.113, e-mail: chhom_amnoth@yahoo.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Chkhum Amnoth – postgraduate student of the Reinforced Concrete Structures Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113, Leningradskaya St., e-mail: chhom_amnoth@yahoo.com).

РАЗДЕЛ IV. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.А. Гибадуллин¹, Ю.В. Ерыгин²

¹НОУ ВО «Московский технологический институт»,
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», г. Москва, Россия
²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Представленная статья посвящена вопросу обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса современной России.

Материалы и методы. Проведенные исследования, посвященные состоянию мощностей электроэнергетического комплекса, показывают, что оборудование и основные средства, установленные на энергетических объектах, подвергаются моральному и физическому износу. Кроме состояния основных производственных мощностей на устойчивость электроэнергетических предприятий влияют иные внутренние и внешние факторы, среди которых можно выделить организационно-управленческие, экологические, производственную структуру и другие детерминанты, а также климатические, географические, социально-экономические условия и т.д. Всё это свидетельствует о том, что современный электроэнергетический комплекс в ближайшем будущем не сможет обеспечивать надежность электроснабжения, что требует формирование модели обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса.

Результаты. Устойчивость целесообразно формировать за счет двух составляющих – это устойчивое функционирование и устойчивое развитие, включающие три основополагающих фактора, а именно: доля экспорта, обеспеченность финансовыми ресурсами и состояние основных средств.

Заключение. Обеспечение устойчивости электроэнергетического комплекса должно основываться на наращивании количества выработанной электрической энергии, которая будет экспортироваться на мировые энергетические рынки и сокращении затрат на производство, в том числе, за счет обновления основных средств и использования инновационных технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивость, устойчивое функционирование, устойчивое развитие, электроэнергетический комплекс, модель обеспечения устойчивости, факторы, объекты электроэнергетики, доля экспорта, обеспеченность финансовыми ресурсами, состояние основных средств.

© А.А. Гибадуллин, Ю.В. Ерыгин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

FORMATION OF THE SUSTAINABILITY MODEL OF THE ELECTRIC POWER COMPLEX

A.A. Gibadullin¹, Yuri V. Yerygin²

¹Moscow Institute of Technology, Moscow, Russia

²Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev
Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The article is devoted to the issue of ensuring the stability of the electric power complex in modern Russia.*

Materials and methods. *The conducted research devoted to the capacities condition of the electric power complex shows that the equipment and the basic means on power objects have undergone to moral and physical deterioration. In addition to the state of the main production capacities, the stability of electric power enterprises is influenced by other internal and external factors, among which are organizational and managerial, environmental, production structure and other determinants as well as climatic, geographical, socio-economic conditions, etc. Therefore, the modern electric power complex in the nearest future would not be able to ensure the reliability of electricity supply, which requires the formation of the model to ensure the electricity complex stability.*

Results. *The sustainability could be formed by two components, such as sustainable functioning and sustainable development, which include three fundamental factors: the exports share, the provision of financial resources and the fixed assets state.*

Discussion and conclusion. *The authors concluded that the electric power complex sustainability should be carried out both by increasing the amount of generated electricity, that would be supplied to the world energy markets, and by reducing production costs by updating fixed assets and using innovative technologies.*

KEYWORDS: *stability, sustainable functioning, sustainable development, electric power complex, factors, sustainability model.*

© A.A. Gibadullin, Yuri V. Yerygin



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Современные экономические системы подвержены влиянию различным факторам, которые оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на развитие системы. В отечественной и зарубежной литературе выделяют факторы внешней и внутренней среды, влияющие на систему и обеспечивающие ее устойчивость [1,2,3]. Детерминанты, рассматриваются в призме финансово-экономической, организационной, маркетинговой, производственной, экологические и других видов деятельности, при этом, основополагающим принципом является выделение отраслевого аспекта деятельности предприятия. В свою очередь, все они делятся на макро и микро факторы, а некоторые исследователи вводят факторы мега- и мезосреды. Рассмотрим их более подробно [4, 5].

Факторы макросреды – это факторы, влияющие извне на организацию, на которые предприятие не может самостоятельно повлиять, к ним относят экономическую и политическую обстановку в стране, социальное положение населения, экологические, климатические, географические и другие детерминанты. Факторы микросреды – это внутренняя среда организации, которая влияет на устойчивость и развитие предприятия, к данным детерминантам можно отнести производственную составляющую, финансово-хозяйственные, информационные, инновационные, маркетинговые, социальные и экологические факторы. К факторам мезосреды целесообразно отнести непосредственное окружение организации и отраслевые или региональные детерминанты. Мегасреда содержит факторы, которые косвенно влияют на предприятие, в основном через национальную политику или экономику. Мегасреда включает факторы мировой финансовой системы, состояния экономически развитых государств и их внешнеэкономическую политику, уровня вооруженных конфликтов, глобальных трендов и перспектив развития [6, 7]. Таким образом, факторы, влияющие на устойчивость организации можно представить в виде взаимосвязанной системы, которая влияет на устойчивость хозяйственных предприятий и национальной экономической системы в целом.

Для каждой отрасли народного хозяйства и конкретного предприятия факторы, влияющие на функционирование и развитие организации содержат специфические черты и могут

кардинально различаться для похожих предприятий, всё это может быть связано с местом размещения организации, вовлеченностью ее в экономические и политические процессы государства, спецификой оборудования и его технологичностью, рынками сбыта продукции, конкурентами и т.п. Вследствие чего формирование факторов по степени влияния на рассматриваемый объект исследования или предметную область, целесообразно рассматривать в отдельности и выявлять взаимосвязь факторов между собой [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматривая электроэнергетическую отрасль как стратегическую отрасль национальной экономики, функционирование которой влияет на все процессы, протекающие в государстве, необходимо выделить собственные факторы, обладающие не только движущей силой развития элементов электроэнергетического комплекса, но и негативно влияющих на всю энергетическую систему. В современной экономике на электроэнергетическую отрасль влияют факторы мега-, макро- и мезосреды, а на предприятия энергетического комплекса дополнительно оказывает влияние микросреда организации.

Авторы [9,10,11] рассмотрели более традиционные факторы, влияющие на функционирование коммерческих и государственных организаций, среди которых можно выделить экономическую ситуацию в стране, конкурентов, поставщиков, потребителей, инфляцию, политическую стабильность, приток инвестиций, льготы и дотации, социальную обстановку, научно-технический прогресс и т.п. В данном исследовании мы введем дополнительные факторы, которые влияют на электроэнергетический комплекс, в связи с отраслевой спецификой производства, среди которых можно выделить климатические, географические, временные и сырьевые факторы.

Климатические факторы непосредственно влияют на электроэнергетический комплекс, например, изменение погодных условий влияет на количество выработанной электрической и тепловой энергии, сила ветра или ледяной дождь может повлиять на целостность линии электропередач, дожди образуют коррозию материалов, изменение времени года сказывается на технологическом процессе, связанной с подготовкой угля, работой гидроэлектростанцией, увеличенной тепловой нагрузкой и

т.д. Вместе с тем падение температуры наружного воздуха увеличивает выработку и потребление электроэнергии, что приносит дополнительную прибыль энергокомпаниям.

Размещение объектов электроэнергетики и возможность их объединения в Единую энергетическую систему Российской Федерации образуют географические факторы, которые можно связать с наличием или отсутствием межсистемных линий электропередач, что влияет на экспортные показатели [12]. К географическим факторам можно отнести территорию размещения электростанции и удаленность от добычи топливно-энергетических ресурсов, что сокращает или увеличивает затраты на транспортировку сырья до производителя электрической энергии, с другой стороны, увеличивает затраты на транспортировку электрической энергии и невозможность производства тепловой энергии [13, 14].

Сырьевой фактор и наличие топливно-энергетических ресурсов на электростанции влияют на функционирование станции. Отсутствие сырья, нарушение логистического процесса доставки или планирования запасов ресурсов может повлечь не только остановку технологического процесса, но и оказать негативное влияние как на потребителей, так и на территорию размещения станции [15, 16, 17].

Последний фактор, который не встречается в отечественной и зарубежной литературе, влияющий на энергетическое предприятие, является временной фактор. В электроэнергетике время работы оборудования регламентируется ГОСТами функционирования энергетического оборудования. В последние годы наблюдается тенденция к повышению времени работы оборудования, при этом большая часть мощностей эксплуатируется за пределами паркового ресурса, в этой связи временной фактор необходимо учитывать при рассмотрении детерминантов влияющих на устойчивость предприятий электроэнергетики.

Таким образом, необходимо выявлять, на какие составляющие электроэнергетической системы или энергетического производства влияют введенные отраслевые факторы, а также их целесообразно учитывать при формировании прогнозов развития электроэнергетики, планировании программ модернизации и спроса на электрическую энергию, разработки политики в области устойчивости электроэнергетического комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Далее целесообразно рассмотреть причинно-следственные связи влияния различных факторов на устойчивость электрогенерирующих компаний. На наш взгляд, необходимо выделить три фактора, которые могут придать устойчивость электроэнергетической отрасли:

- состояние основных средств;
- обеспеченность финансовыми ресурсами;
- доля экспорта.

Представленные факторы включают в себя как внутренние, так и внешние детерминанты, которые в современной электроэнергетической отрасли могут придать устойчивость электроэнергетическим компаниям. Рассматривая проблемы устойчивости электрогенерирующих компаний, необходимо учитывать, что устойчивость разделяется на устойчивое функционирование, то есть поддержание работоспособности оборудования в заданном режиме и обеспечении безопасности объектов электроэнергетики, и устойчивое развитие, которое включает экономическую, экологическую и социальную составляющие, то есть взаимосвязь данных факторов для формирования политики в области развития электрогенерирующих компаний [21, 22, 23].

Детерминант, связанный с состоянием основных средств, является основой формирования политики в области устойчивости электроэнергетического комплекса, так как он влияет на функционирование объектов электроэнергетики и, следовательно, на существование отрасли как составной части национальной экономической системы Российской Федерации. Становление и развитие современной электроэнергетики пришлось на 60-80-е годы прошлого века, в этот период были построены существующие электростанции, развита система передачи и распределения электрической энергии, сформированы принципы по передаче энергии в другие энергетические системы, создана Единая энергетическая система Советского Союза, в дальнейшем трансформированная в энергосистемы независимых республик. Однако в последние годы в Российской Федерации не наблюдается политика в области обновления, модернизации или нового строительства производственных мощностей, что негативно влияет на состояние основных средств электроэнергетического комплекса (рисунок 1).

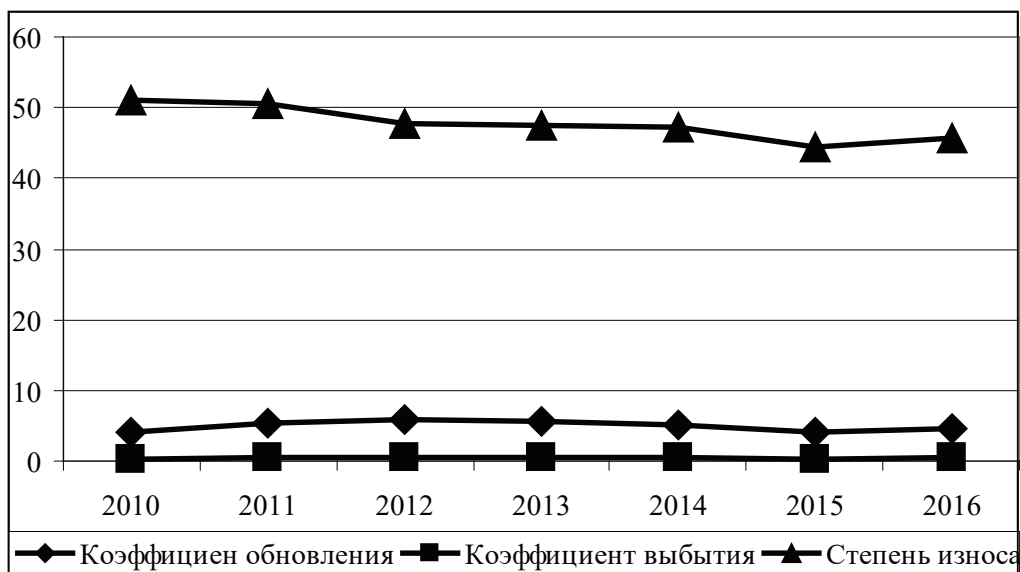


Рисунок 1 – Коэффициенты, отражающие состояние основных средств электроэнергетического комплекса, в процентах

Figure 1 – Coefficients reflecting the state of fixed assets of the electric power complex, in percent

Источник: Российский статистический ежегодник. 2017: Стат. сб./Росстат. М., 2017. 686 с.

Представленные показатели целесообразно рассмотреть во взаимосвязи, в результате чего мы сможем объективно оценить сложившуюся ситуацию в электроэнергетическом комплексе. Так, из представленного рисунка видно, что обновление основных средств составляет в среднем 5% в год, при этом выбытие не превышает 0,5%, это свидетельствует не о проведении планомерной политики по замене производственных мощностей, а о строительстве новых энергетических объектов для удовлетворения спроса вновь возникших производств или потребителей. Рассматривая коэффициенты износа и выбытия, также можно констатировать, что износ падает не за счет выбытия основных средств, а за счет введения новых основных средств энергетических компаний.

Таким образом, из представленного рисунка мы видим, что износ основных средств в 2016 году составлял более 45%, а незначительное падение данного показателя связано не с массовым выбытием изношенных производственных мощностей, а введением в эксплуатацию новых электроэнергетических объектов.

Следующий фактор связан с обеспеченностью финансовыми ресурсами, который непосредственно влияет на состояние основных

средств, так как наличие средств и ресурсов позволит провести политику по обновлению и модернизации эксплуатируемых мощностей, что повысит эффективность производственной деятельности. Данный фактор включает инвестиции в основной капитал и финансовые вложения организаций (рисунок 2).

Рассматривая финансовые показатели, мы видим, что инвестиции в основной капитал, связанные со строительством, модернизацией и расширением электроэнергетических объектов, сократились на 20% в 2016 году по сравнению с 2014 годом, а финансовые вложения, отражающие государственные и муниципальные ценные бумаги и ценные бумаги других организаций увеличиваются. Вместе с тем в период санкций и экономического кризиса прогнозируется падение иностранных инвестиций, что отрицательно скажется на программах по обновлению и модернизации производственных мощностей и, как следствие, на финансовой устойчивости электроэнергетических предприятий.

Третий основополагающий фактор является доля экспорта электрической энергии на мировые и национальные электроэнергетические рынки. Рассмотрим показатели экспорта и импорта электрической энергии (таблица).

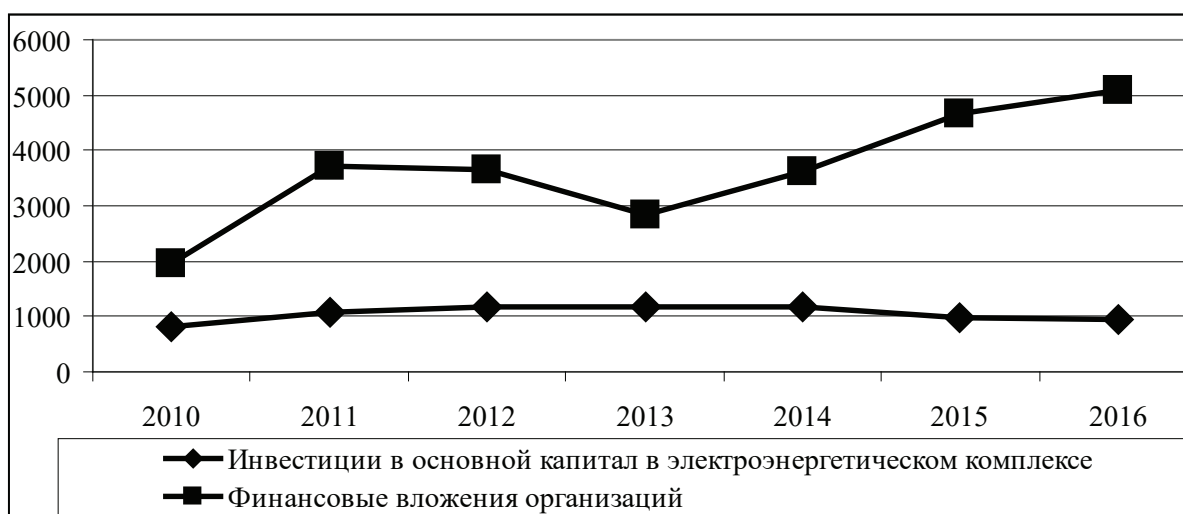


Рисунок 2 – Финансовые показатели, миллиардов рублей, в фактических действовавших ценах

Figure 2 - Financial performance of rubles billions, in actual effective prices

Источник: Российский статистический ежегодник. 2017: Стат. сб./Росстат. М., 2017. 686 с.

ТАБЛИЦА
ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, млрд кВт·ч
TABLE
ELECTRICITY INDUSTRY INDICATORS OF THE RUSSIAN FEDERATION, млрд кВт·ч

Показатель	2012	2013	2014	2015	2016
Производство	1069	1059	1064	1067	1091
Импорт	8,3	11,5	8,9	8,8	3,5
Потребление	1063	1054	1065	1060	1078
Экспорт	14,3	15,8	8,1	16,1	16,1

Источник: Российский статистический ежегодник. 2017: Стат. сб./Росстат. М., 2017. 686 с.

Из представленной таблицы видно, что экспорт электрической энергии составляет не более полутора процентов от количества произведенной электрической энергии. Рассматривая показатели использования установленной мощности, можно констатировать, что в Российской Федерации используется только 50% установленной мощности. Полная загрузка мощностей позволит увеличивать экспортную составляющую, в результате чего у электроэнергетических компаний появятся дополнительные финансовые ресурсы, и сформируется дополнительный потенциал

для сохранения устойчивого функционирования и развития компаний [19, 20, 21].

Таким образом, устойчивость электроэнергетического комплекса Российской Федерации обеспечивается за счет приведенных факторов, которые должны быть разделены на функционирующие и развивающие составляющие, в свою очередь включающие несколько компонентов.

Далее представляется необходимым сформировать модель обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса (рисунок 3).



Рисунок 3 – Модель обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса

Figure 3 – Stability model of the electric power complex

Источник: собственная разработка авторов

Из представленного рисунка видно, что обеспечение устойчивости невозможно без соблюдения двух основополагающих принципов – это функционирование, как первый принцип достижения устойчивости, и развитие, который рассматривается в призме совершенствования существующих организационно-экономических и технических условий процесса производства, передачи, распределения и сбыта электрической энергии. Безусловно, предложенные факторы, обеспечивающие устойчивость электроэнергетического комплекса, включают множество составляющих, которые могут быть изменены под воздействием внешней и внутренней среды организации, мировой и отраслевой политики. В целом указанные факторы позволяют обеспечить не только устойчивое функционирование, включающее надежное электроснабжение, обеспечение качественной работы энергетического оборудования, сокращение количества аварий и

непредвиденных отказов, увеличение работоспособности оборудования и сокращения издержек производства, но и выведет отрасль на устойчивое развитие, что в свою очередь позволит увеличить загрузку производственных мощностей, развивать экспортную политику, получить дополнительные финансовые ресурсы, активизировать инновационную и инвестиционную деятельность, сократить использование иностранного оборудования, повысить конкурентоспособность российской электроэнергии на национальных и мировых рынках, сохранить экологическое благополучие в регионе и повысить благосостояние населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании сформирована модель обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса, в котором в последние годы наблюдается падение технико-технологических показателей, ухудшения условий функ-

ционирования и развития, сокращение финансовых и инвестиционных ресурсов, падение экспорта электрической энергии в национальные государства. Формирование устойчивости должно содержать не только принцип надежного функционирования объектов электроэнергетического комплекса, но и возможность развития отрасли через обеспечения функционирования объектов электроэнергетики. В работе предложено, что модель обеспечения устойчивости электроэнергетического комплекса должна содержать три основополагающих фактора – это обеспеченность финансовыми ресурсами, состояние основных средств и доля экспорта. Представленные факторы взаимосвязаны между собой, а их совокупность позволит решить множество отраслевых проблем, среди которых можно выделить обеспечение надежного электроснабжения потребителей, безаварийная работа энергетического оборудования, сокращение количества аварий и отказов оборудования, новое строительство и модернизация существующих мощностей, переход на инновационные и цифровые технологии в электроэнергетике, загрузка мощностей и развитие межсистемных перетоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гибадуллин А.А. Механизмы устойчивого развития отрасли // *Международный научный журнал*. 2012. № 4. С. 23-27.
2. Veselovsky M.Y., Menshikova M.A., Gnezdova J.V., Izmailova M.A., Romanova J.A. Formation of management system for sustainable development of enterprises in the various industries // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Т. 10. № 20. С. 41172-41177.
3. Alferova T., Shilova E., Tretiakova E. Methodical approaches to sustainable development of industrial enterprises // *European Research Studies Journal*. 2015. Т. 18. № 3. С. 115-128.
4. Biryukov V.V., Romanenko E.V., Khairova S.M., Khairov B.G. Cyclic-Temporal Competitive Advantages of the National Economy and Entrepreneurship Development // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. Vol.6. No 4. P. 64-71. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s4p64
5. Харитонов В.Н. Формирование системы управления корпоративными знаниями как фактор устойчивого развития организации // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2011. №4 (127). С. 165-169.
6. Biryukov V.V., Romanenko E.V. The formation of territorial innovation models // *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. No 12. P. 89534.
7. Веретёхин А.В. Основные атрибуты механизмы управления развитием промышленного предприятия // *Вестник НГИЭИ*. 2018. № 4 (83). С. 74-83.
8. Безруких П.П., Соловьев Д.А. Взгляд на энергетику 2020 г. в свете устойчивого развития России // *Малая энергетика*. 2014. № 1-2. С. 4-8.
9. Савчина О.В., Асинович А.В. О состоянии энергетической отрасли Российской Федерации в кризисных условиях // *Вестник МГПУ. Серия «Экономика»*. 2017. № 1. С. 46-52.
10. Гибадуллин А.А. Формирование системы повышения устойчивости предприятий электроэнергетики. М.: Издательский дом ГУУ, 2016. 156 с.
11. Стертюков К.Г. Стародубцева О.А. Проблемы внедрения новых технологий и технических средств с целью увеличения КПД в энергетической отрасли // *Вестник Пермского национального исследовательского университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2018. № 25. С. 58-73.
12. Виленский М.А. Экономические проблемы электрификации СССР. М., 1975. 200 с.
13. Цветков В.А., Борталевич С.И., Логинов Е.Л. Стратегические подходы к развитию энергетической инфраструктуры России в условиях интеграции национальных энергосистем и энергорынков. М.: ИПР РАН, 2014. 511 с.
14. Freeman C. The National System of Innovation in Historical Perspective // *Cambridge Journal of Economics*. 1995. No 19. P. 7-8.
15. Борталевич С.И. Пути обеспечения устойчивого энергетического развития региональных экономических систем в рамках управления энергетической безопасностью региона // *Проблемы рыночной экономики*. 2015. № 1. С. 41-46.
16. Афанасьев В.Я., Райченко А.В. Модернизация концепции управления // *Вестник Университета (Государственный университет управления)*. 2013. № 7. С. 221-228.
17. Недялькова А.М., Тарасенко Е.С. Социально-экологическая политика и развитие региональных топливно-энергетических комплексов // *Прикладные экономические исследования*. 2014. № 1. С. 39-44.
18. Харитонов В.Н. Формирование системы управления корпоративными знаниями как фактор устойчивого развития организации //

Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2011. №4 (127). С. 165-169.

19. Гусейнов А.А. О формировании приоритетов экологического энергосбережения в региональной промышленной политике // Вопросы структуризации экономики. 2011. № 2. С. 95-99.

20. Логинов Е.Л., Борталевич С.И. Проблемы прогнозирования критических технических ситуаций в ЕЭС России с учетом Smart Grid // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1. С. 30-37.

21. Логинов Е.Л., Борталевич С.И., Чиналиев В.У., Михайлов А.В. Мониторинг оперирования топливно-энергетическими ресурсами и использования финансовых и имущественных активов в процессе энергообеспечения потребителей // Вестник экономической безопасности. 2017. № 1. С. 170-175.

22. Пуляева В.Н. Развитие инструментов управления знаниями в металлургии // Экономика в промышленности. 2017. Т. 10. № 2. С. 121-127.

23. Ласточкина В.Б. Организация экономического районирования в советской России в 1920-1930-е годы // Вестник Чувашского университета. 2015. № 4. С. 116-120.

24. Багян Н.Р., Коннова М.Д. Искусственный интеллект в электроэнергетике // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Материалы 1-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 86-91.

25. Гарнов А.П., Гарнова В.Ю. Механизмы развития электроэнергетики как ключевые факторы обеспечения энергоэффективности российской экономики // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2017. № 3 (93). С. 90-99.

REFERENCES

1. Gibadullin A.A. Mekhanizmy ustoychivogo razvitiya otrasli [Mechanisms of sustainable development of the industry]. Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal, 2012, no 4, pp. 23-27. (in Russian).

2. Veselovsky M.Y., Menshikova M.A., Gnezdova J.V., Izmailova M.A., Romanova J.A. Formation of management system for sustainable development of enterprises in the various industries // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 20. pp. 41172-41177.

3. Alferova T., Shilova E., Tretiakova E. Methodical approaches to sustainable development of industrial enterprises // European Research

Studies Journal. 2015. T. 18. № 3. pp. 115-128.

4. Biryukov V.V., Romanenko E.V., Khairova S.M., Khairov B.G. Cyclic-Temporal Competitive Advantages of the National Economy and Entrepreneurship Development // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Vol.6. No 4. P. 64-71. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s4p64

5. Kharitonova V.N. Formirovanie sistemy upravleniya korporativnymi znaniyami kak faktor ustoychivogo razvitiya organizatsii [Corporate management system formation as a factor of the organization's sustainable development] Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki, 2011, no 4 (127), pp. 165-169. (in Russian).

6. Biryukov V.V., Romanenko E.V. The formation of territorial innovation models // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. No 12. P. 89534.

7. Veretekhin A.V. Osnovnye atributy mekhanizmy upravleniya razvitiem promyshlennogo predpriyatiya [Main attributes of the mechanisms for managing the development of the industrial enterprise]. Vestnik NGIEI, 2018, no 4 (83), pp. 74-83. (in Russian).

8. Bezrukh P.P., Solovov D.A. Vzglyad na energetiku 2020 g. v svete ustoychivogo razvitiya Rossii [View on the energy sector in 2020 by the Russia's sustainable development]. Malaya energetika, 2014, no 1-2, pp. 4-8. (in Russian).

9. Savchina O.V., Asinovich A.V. O sostoyanii energeticheskoy otrasli Rossiyskoy Federatsii v krizisnykh usloviyakh [About the energy industry state of the Russian Federation in crisis conditions]. Vestnik MGPU. Seriya «Ekonomika», 2017, no 1, pp. 46-52. (in Russian).

10. Gibadullin A.A. Formirovanie sistemy povysheniya ustoychivosti predpriyatiy elektroenergetiki [Formation of the system for increasing the enterprises sustainability in the electric power industry]. Moscow: Izdatelskiy dom GUU, 2016. 156 p. (in Russian).

11. Stertyukov K.G., Starodubtseva O.A. Problemy vnedreniya novykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv s tselyu uvelicheniya KPD v energeticheskoy otrasli [Problems of introduction of new technologies and technical means for the purpose of increasing efficiency in the energy sector]. Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya, 2018, no 25, pp. 58-73. (in Russian).

12. Vilenskiy M.A. Ekonomicheskie problemy elektrifikatsii SSSR [Economic problems of electrification in the USSR]. Moscow, 1975. 200 p. (in Russian).

13. Tsvetkov V.A., Bortalevich S.I., Loginov Ye.L. Strategicheskie podkhody k razvitiyu energeticheskoy infrastruktury Rossii v usloviyakh integratsii natsionalnykh energosistem i energorynkov [Strategic approaches to the development of Russia's energy infrastructure in the context of the integration of national energy systems and energy markets]. Moscow: IPR RAN, 2014. 511 p. (in Russian).

14. Freeman C. The National System of Innovation in Historical Perspective // Cambridge Journal of Economics. 1995. No 19. P. 7-8.

15. Bortalevich S.I. Puti obespecheniya ustoychivogo energeticheskogo razvitiya regionalnykh ekonomicheskikh sistem v ramkakh upravleniya energeticheskoy bezopasnostyu regiona [Ways to ensure sustainable energy development of regional economic systems within the framework of energy security management in the region]. Problemy rynochnoy ekonomiki, 2015, no 1, pp. 41-46. (in Russian).

16. Afanasev V.Ya., Raychenko A.V. Modernizatsiya kontseptsii upravleniya [Modernization of the management concept]. Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyy universitet upravleniya), 2013, no 7, pp. 221-228. (in Russian).

17. Nedyalkova A.M., Tarasenko Ye.S. Sotsialno-ekologicheskaya politika i razvitie regionalnykh toplivno-energeticheskikh kompleksov [Socio-ecological policy and development of regional fuel and energy complexes]. Prikladnye ekonomicheskie issledovaniya, 2014, no 1 pp. 39-44. (in Russian).

18. Kharitonova V.N. Formirovanie sistemy upravleniya korporativnymi znaniyami kak faktor ustoychivogo razvitiya organizatsii [Formation of the corporate knowledge management system as a factor of the organization's sustainable development]. Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbG-PU. Ekonomicheskie nauki, 2011, no 4 (127), pp. 165-169. (in Russian).

19. Guseynov A.A. O formirovanii prioritetov ekologicheskogo energosberezheniya v regionalnoy promyshlennoy politike [About the formation of priorities for environmental energy conservation in regional industrial policy]. Voprosy strukturizatsii ekonomiki, 2011, no 2, pp. 95-99. (in Russian).

20. Loginov Ye.L., Bortalevich S.I. Problemy prognozirovaniya kriticheskikh tekhnicheskikh situatsiy v YeES Rossii s uchetom Smart Grid [Problems of forecasting critical technical situations in the UES of Russia, taking into account the Smart Grid]. Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy, 2018, no 1, pp. 30-37. (in Russian).

21. Loginov Ye.L., Bortalevich S.I., Chinaliev

V.U., Mikhaylov A.V. Monitoring operirovaniya toplivno-energeticheskimi resursami i ispolzovaniya finansovykh i imushchestvennykh aktivov v protsesse energoobespecheniya potrebiteley [Monitoring of operation of fuel and energy resources and use of financial and property assets in the process of power supply to consumers]. Vestnik ekonomicheskoy bezopasnosti, 2017, no 1, pp. 170-175. (in Russian).

22. Pulyaeva V.N. Razvitie instrumentov upravleniya znaniyami v metallurgii [Development of tools for knowledge management in metallurgy]. Ekonomika v promyshlennosti, 2017, vol. 10, no 2, pp. 121-127. (in Russian).

23. Lastochkina V.B. Organizatsiya ekonomicheskogo rayonirovaniya v sovetskoй Rossii v 1920-1930-e gody [Organization of economic regionalization in Soviet Russia in 1920-1930-ies]. Vestnik Chuvashskogo universiteta, 2015, no 4, pp. 116-120. (in Russian).

24. Bagyan N.R., Konnova M.D. Iskusstvennyy intellekt v elektroenergetike [Artificial Intelligence in the Electric Power Industry]. Shag v budushchee: iskusstvennyy intellekt i tsifrovaya ekonomika. Materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2017, pp. 86-91. (in Russian).

25. Garnov A.P., Garnova V.Yu. Mekhanizmy razvitiya elektroenergetiki kak klyuchevye faktory obespecheniya energoeffektivnosti rossiyskoy ekonomiki [Mechanisms for the development of the electric power industry as key factors for ensuring the energy efficiency of the Russian economy]. Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova, 2017, no 3 (93), pp. 90-99. (in Russian).

Поступила 25.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гибадуллин Артур Артурович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Энергетики» НОУ ВО «Московский технологический институт» (119334, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 38а), доц. кафедры «Экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе» ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (109542, г. Москва, Рязанский проспект,

д. 99), ассистент кафедры «Экономики в энергетике и промышленности» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14) e-mail: 11117899@mail.ru.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, профессор, проф. кафедры «Финансы и кредит» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева» (660000, Красноярский край, г. Красноярск, п-р имени газеты «Красноярский Рабочий», д. 31).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gibadullin Artur Arturovich – candidate of economics, associate professor of the Power Engineering Department, Moscow Institute of Technology (119334, Russia, Moscow, 38a, Leninsky Prospect), Associate Professor of the Economics and Management in the Fuel and Energy Department, State University of Management (109542, Moscow, 99, Ryazan

Ave.), Assistant of the Economics in Power Engineering and Industry Department, MEI National Research University (111250, Moscow, 14, Krasnokazarmennaya St., e-mail: 11117899@mail.ru).

Yerygin Yuri Vladimirovich – doctor of economics, professor, professor of the Finance and Credit Department, Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev (660000, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, 31, Krasnoyarsk Worker Prospect).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Ерыгин Ю.В. и Гибадуллин А.А. совместно разработали предлагаемую в исследовании модель обеспечения устойчивости электро-энергетического комплекса.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yerygin Yu.V. and Gibadullin A.A. jointly developed the model of the electricity complex stability.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Математическое моделирование. Системы автоматизации проектирования; Экономика и управление. 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** – (критическое 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 A4, шрифт Arial (10 pt), 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 подписочной 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 – подписочные 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. Корректур 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>